



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TEMA:

“BIPEDESTADOR AUTOMATIZADO PARA
REHABILITACIÓN DE NIÑOS Y PREADOLESCENTES”

AUTOR: Daqui Jumanti Cabascango Conejo

DIRECTOR: PhD. Brizeida Nohemi Gámez Aparicio

Ibarra-Ecuador

2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

| DATOS DE CONTACTO | | | |
|-----------------------------|---------------------------------|------------------------|------------|
| CÉDULA DE IDENTIDAD: | 100276216-7 | | |
| APELLIDOS Y NOMBRES: | Cabascango Conejo Daqui Jumanti | | |
| DIRECCIÓN: | Imbabura, Otavalo | | |
| EMAIL: | djcc26_cabascango@outlook.com | | |
| TELÉFONO FIJO: | 2903833 | TELÉFONO MÓVIL: | 0984173506 |

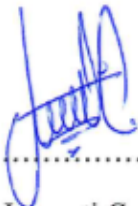
| DATOS DE LA OBRA | |
|------------------------------------|--|
| TÍTULO: | BIPEDESTADOR AUTOMATIZADO PARA REHABILITACIÓN DE NIÑOS Y PREADOLESCENTES |
| AUTOR: | Daqui Jumanti Cabascango Conejo |
| FECHA: | 20 Octubre de 2021 |
| SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO | |
| PROGRAMA: | Pregrado |
| TITULO POR EL QUE OPTA: | Ingeniería en Mecatrónica |
| ASESOR /DIRECTOR: | PhD. Brizeida Nohemi Gámez Aparicio |

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 20 días del mes de octubre de 2021

EL AUTOR:



.....
Daqui Jumanti Cabascango Conejo

Cédula: 100276216-7



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INNIERGEÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica con el tema **BIPEDESTADOR AUTOMATIZADO PARA REHABILITACIÓN DE NIÑOS Y PREADOLESCENTES**, fue desarrollado por el Sr. Daqui Jumanti Cabascango Conejo, bajo mi dirección.



Firmado electrónicamente por:
**BRIZEIDA NOHEMI
GAMEZ APARICIO**

PhD. Brizeida Gámez.

DIRECTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

DEDICATORIA

A mis padres y hermanas por haberme dado su apoyo incondicional durante todos estos años, para poder llegar a esta instancia de mis estudios, ellos me enseñaron muchas cosas vitales para la vida, y me encaminaron por el buen sendero.

Daqui J. Cabascango



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AGRADECIMIENTO

A Dios por darme la vida y guiar mis pasos día a día, a mis padres y hermanas por su apoyo en los buenos y malos momentos, amigos y maestros por sus enseñanzas para desarrollarme profesionalmente y haberme brindado todos sus conocimientos durante todo mi periodo como estudiante.

Daqui J. Cabascango

RESUMEN

Se presenta el diseño y construcción de un dispositivo de bipedestación que permite el movimiento de posición decúbito supino a posición bípedo y viceversa. Para obtener el modelo se plantean dos alternativas de solución, en base a las especificaciones del sistema a diseñar, seguido de la selección de la propuesta que cumpla con los requerimientos. Posteriormente mediante la herramienta “SolidWorks 2017” se lleva a cabo el análisis de esfuerzos, desplazamientos y factor de seguridad, al mismo tiempo se calcula de manera analítica algunos elementos del modelo. La construcción del bipedestador se realiza en acero AISI 304 para lo que la base en su mayoría estructura tubular, y para la camilla tabla triplex. El mecanismo de bipedestación se lo realiza con un actuador lineal y un controlador integrado con el actuador, para esta sección los materiales se lo escogieron mediante una tabla comparativa de acuerdo a los parámetros de diseño. Finalmente, el bipedestador ha sido construido con elementos ajustables ya que es un bipedestador para niños que comprenden entre 5 a 12 años de edad, además se ha considerado las medidas antropométricas de los pacientes en la “Unidad de Rehabilitación y Medicina Preventiva la Joya”, para un mejor desempeño.

Palabras clave: bipedestador, decúbito supino, ajustable, antropometría.

ABSTRACT

The design and construction of a standing frame that allows movement from the supine position to the bipedal position and vice versa is presented. To obtain the model, two alternative solutions are proposed, based on the specifications of the system to be designed, followed by the selection of the proposal that meets the requirements. Subsequently, using the "SolidWorks 2017" tool, the stress, displacement and safety factor analysis is carried out, at the same time some elements of the model are analytically calculated. The construction of the standing frame is made of AISI 304 steel, for which the base is mostly a tubular structure, and for the triplex table stretcher. The standing mechanism is performed with a linear actuator and a controller integrated with the actuator, for this section the materials were chosen by means of a comparative table according to the design parameters. Finally, the stander has been built with adjustable elements since it is a stander for children between 5 and 12 years of age, in addition, the anthropometric measurements of the patients in the "La Joya Rehabilitation and Preventive Medicine Unit".

Key words: standing, supine, adjustable, anthropometry.



ABSTRACT

The design and construction of a standing frame for transitioning from a supine to a bipedal position and vice versa is presented. To build the model, two alternative solutions are proposed based on the specifications of the system to be designed, with the most suitable proposal being chosen. Subsequently, using the "SolidWorks 2017" tool, the stress, displacement, and safety factor analysis is carried out, at the same time some elements of the model are analytically calculated. The construction of the standing frame is made of AISI 304 steel, for which the base is mostly a tubular structure, and for the triplex table stretcher. The standing mechanism is made with a linear actuator and a controller integrated with the actuator, for this section the materials were chosen using a comparative table according to the design parameters. Finally, because it is a stander for children aged 5 to 12, the stander has adjustable elements, as well as the anthropometric measurements of the patients at the "La Joya Rehabilitation and Preventive Medicine Center."

Keywords: standing, supine, adjustable, anthropometry.

Reviewed by Víctor Raúl Rodríguez Viteri

CONTENIDO

| | |
|---|------------|
| IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA | i |
| CONSTANCIAS | ii |
| CERTIFICACIÓN..... | iii |
| DEDICATORIA..... | iv |
| AGRADECIMIENTO | v |
| RESUMEN | vi |
| ABSTRACT..... | vii |
| CAPÍTULO I..... | 1 |
| EL PROBLEMA | 1 |
| 1.1 Planteamiento del problema..... | 1 |
| 1.2 Objetivos | 2 |
| 1.2.1 Objetivo general | 2 |
| 1.2.2 Objetivos específicos | 2 |
| 1.3 Justificación | 2 |
| 1.4 Alcance | 3 |
| CAPITULO II | 4 |
| 2.1. Antecedentes..... | 4 |
| 2.2. Condiciones que requieren bipedestación | 11 |
| 2.2.1 Aspectos generales de bipedestación | 11 |
| 2.2.1.1 Bipedestación..... | 11 |

| | |
|---|----|
| 2.2.1.2 Bipedestación estática..... | 12 |
| 2.2.1.3 Bipedestación dinámica..... | 12 |
| 2.2.1.4 Importancia de la bipedestación..... | 12 |
| 2.2.1.5 Beneficios de la bipedestación..... | 13 |
| 2.3 Antropometría..... | 14 |
| 2.3.1 Toma de medidas antropométricas..... | 15 |
| 2.3.2 Cálculo de la talla utilizando la altura talón-rodilla..... | 15 |
| 2.4 Componentes generales de un bipedestador..... | 16 |
| 2.5 Tipo de bipedestadores..... | 17 |
| 2.5.1 Prono..... | 17 |
| 2.5.2 Supino..... | 18 |
| 2.5.3 Tabla supina vertical..... | 19 |
| 2.5.4 Standing..... | 19 |
| 2.5.5 Standing en abducción..... | 20 |
| 2.5.6 Ministanding..... | 21 |
| CAPITULO III..... | 22 |
| 3.1 Tipo de investigación..... | 22 |
| 3.2 Diseño de la investigación..... | 22 |
| CAPITULO IV..... | 24 |
| 4.1 Especificaciones del sistema a diseñar..... | 24 |
| 4.2 Planteamiento de alternativa de solución..... | 25 |

| | |
|--|----|
| 4.2.1. Primera alternativa de solución..... | 25 |
| 4.2.2. Segunda alternativa de solución | 28 |
| 4.3. Selección de la mejor solución | 30 |
| 4.3.1 Aplicación de criterios | 31 |
| 4.5 Matriz Quality Function Deployment (QFD)..... | 33 |
| 4.6 Especificaciones de la solución seleccionada | 35 |
| 4.7 Selección del material | 37 |
| 4.8 Especificaciones del sistema diseñado..... | 38 |
| 4.8.1. Base de la estructura..... | 38 |
| 4.8.2. Camilla | 39 |
| 4.8.3. Soporte cabeza..... | 39 |
| 4.8.4. Soporte espalda | 40 |
| 4.8.5. Soporte cadera..... | 40 |
| 4.8.6. Soporte rodillas | 41 |
| 4.8.7. Sistema actuador | 41 |
| 4.8.8. Sistema de ruedas..... | 42 |
| 4.8.9. Mesa | 42 |
| 4.9. Análisis dinámico | 43 |
| 4.10. Tipos de actuador lineal | 43 |
| 4.10.1 Selección del actuador lineal..... | 45 |
| 4.10.2 Actuador lineal..... | 46 |

| | |
|---|-----------|
| 4.12. Batería..... | 47 |
| 4.12.1 Selección de batería | 47 |
| 4.12.2 Selección del cargador de batería..... | 48 |
| 4.13. Análisis de elementos finitos | 50 |
| 4.13.1. Análisis de estructura base..... | 50 |
| 4.14 Pasadores | 54 |
| 4.14.1 Selección de pasadores..... | 54 |
| 4.14 Diagrama de cuerpo libre..... | 55 |
| 4.15. Aspectos relacionados a la construcción y ensamblaje..... | 56 |
| 4.15.1. Fabricación del sistema mecánico | 56 |
| 4.15.2. Fabricación de la base de la estructura | 56 |
| 4.15.3.Fabricación camilla..... | 57 |
| | 57 |
| 4.15.4. Ensamblaje del bipedestador | 57 |
| 4.16 Pruebas de funcionamiento y validación | 58 |
| CAPÍTULO V | 62 |
| 5.1. MEDIDAS DE SEGURIDAD | 62 |
| 5.2. AJUSTE Y USO | 64 |
| 5.2.1 Rodilleras | 64 |
| 5.2.2. Cadera..... | 64 |
| .2.3. Espaldar | 64 |

| | |
|------------------------------|-----------|
| 5.2.4. Cabecera | 65 |
| 5.2.5. Mesa | 65 |
| CONCLUSIONES | 66 |
| RECOMENDACIONES | 67 |
| REFERENCIAS..... | 68 |

TABLA DE FIGURAS

| | |
|---|-----------|
| Figura 2 1 Bipedestador ajustable PCI..... | 5 |
| Figura 2 2 Diseño de dispositivo de Bipedestación | 6 |
| Figura 2 3 Diseño y control de un dispositivo de asistencia | 7 |
| Figura 2 4 Diseño de un bipedestador ergonómico..... | 7 |
| Figura 2 5Bipedestador infantil eléctrico | 8 |
| Figura 2 6 Rediseño de un bipedestador para marcha asistida..... | 8 |
| Figura 2 7 Prototipo de bipedestador para pacientes pediátricos..... | 9 |
| Figura 2 8 Bipedestador infantil para pacientes con parálisis cerebral | 10 |
| Figura 2 9 Silla de ruedas de bipedestación | 10 |
| Figura 2 10 Postura bípeda correcta..... | 12 |
| Figura 2 11 Medición de altura talón-rodilla | 16 |
| Figura 2 12 Bipedestadores tipo Prono..... | 18 |
| Figura 2 13 Bipedestador tipo Supino..... | 19 |
| Figura 2 14 Bipedestador tipo Tabla supina vertical | 19 |
| Figura 2 15 Bipedestador tipo Standing | 20 |
| Figura 2 16 Bipedestador tipo Standing en abducción..... | 20 |
| Figura 2 17 Bipedestador tipo Ministanding..... | 21 |

| | |
|--|----|
| Figura 4 18 Alternativa de solución Nro. 1 vista isométrica | 25 |
| Figura 4 19 Alternativa de solución Nro. 1 vista posterior | 26 |
| Figura 4 20 Alternativa de solución Nro. 1: (a) vista isométrica (posición bipedestada), (b) vista lateral izquierda (posición supina) | 26 |
| Figura 4 21 Alternativa de solución Nro. 2..... | 28 |
| Figura 4 22 Alternativa de solución Nro. 2: (a) vista isométrica (posición supina), (b) vista lateral izquierda (posición bípeda) | 29 |
| Figura 4 23 Alternativa de solución Nro. 2 vista posterior | 29 |
| Figura 4 24 Matriz Quality Function Deployment (QFD) | 34 |
| Figura 4 25 Vista explosionada 3D | 35 |
| Figura 4 26 Posición bípedo (vertical)..... | 37 |
| Figura 4 27 Posición de cubito supino (horizontal) | 37 |
| Figura 4 28 Base estructura a) Base estructura, b) Vista con detalle agujero ruedas..... | 38 |
| Figura 4 29 Camilla | 39 |
| Figura 4 30 Soporte cabeza | 39 |
| Figura 4 31 Soporte espalda..... | 40 |
| Figura 4 32 Soporte cadera | 40 |
| Figura 4 33 Soporte rodillas..... | 41 |
| Figura 4 34 Sistema actuador | 42 |
| Figura 4 35 Sistema rueda..... | 42 |
| Figura 4 36 Mesa..... | 43 |
| Figura 4 37 Esquema del mecanismo actuador..... | 43 |
| Figura 4 38 Actuador seleccionado (a) Actuador lineal, (b) Controlador del actuador | 46 |

| | | |
|--------------------|--|-----------|
| Figura 4 39 | Batería convencional (ácido-plomo) | 47 |
| Figura 4 40 | Batería seleccionada | 48 |
| Figura 4 41 | Cargador de batería | 49 |
| Figura 4 42 | Análisis estático del tubo base estructura; (a) mallado, (b) esfuerzo de Von Mises (MPa), (c) desplazamiento máximo (mm), (d) factor de seguridad. | 52 |
| Figura 4 43 | Análisis estático de la camilla; (a) mallado, (b) esfuerzo de Von Mises, (c) desplazamiento máximo, (d) factor de seguridad..... | 53 |
| Figura 4 44 | Modelo CAD camilla | 54 |
| Figura 4 45 | Diagrama de cuerpo libre camilla..... | 55 |
| Figura 4 46 | Fabricación base de la estructura | 57 |
| Figura 4 47 | Fabricación camilla | 57 |
| Figura 4 48 | Bipedestador ensamblado..... | 58 |
| Figura 4 49 | Bipedestador: a) posición decúbito supino; b) posición bípeda | 59 |
| Figura 4 50 | Bipedestador ángulo al azar por fisioterapeuta | 59 |
| Figura 4 51 | a) posición supino, b) posición bípeda | 60 |
| Figura 4 52 | Bipedestador ángulo al azar por fisioterapeuta | 60 |
| Figura 5 53 | Rodilleras | 64 |
| Figura 5 54 | Cadera | 64 |
| Figura 5 55 | Cadera | 65 |
| Figura 5 56 | Cabecera..... | 65 |
| Figura 5 57 | Mesa..... | 65 |

INDICE DE TABLAS

| | |
|---|-----------|
| Tabla 4.1 Componentes primera alternativa de solución..... | 27 |
| Tabla 4.2 Componentes de la segunda alternativa de solución | 29 |
| Tabla 4.3 Ventajas y desventajas de las alternativas propuestas | 30 |
| Tabla 4.4 Ponderación de criterios..... | 32 |
| Tabla 4.5 Ponderación de las soluciones de acuerdo con el criterio 1..... | 32 |
| Tabla 4.6 Ponderación de las soluciones de acuerdo con el criterio 2..... | 32 |
| Tabla 4.7 Ponderación de las soluciones de acuerdo con el criterio 3..... | 32 |
| Tabla 4.8 Ponderación de las soluciones de acuerdo con el criterio 4..... | 33 |
| Tabla 4.9 Ponderación final | 33 |
| Tabla 4.10 Lista de elementos del sistema a diseñar | 36 |
| Tabla 4.11 Estudio comparativo de aceros | 37 |
| Tabla 4.12 Ventajas y desventajas de actuadores lineales | 44 |
| Tabla 4.13 Selección del actuador lineal..... | 45 |
| Tabla 4.14 Selección de batería | 48 |
| Tabla 4.15 Selección del cargador de batería..... | 49 |
| Tabla 4.16 Distribución de masa y peso del paciente | 50 |
| Tabla 4.17 Resultados del análisis de esfuerzo, desplazamiento y factor de seguridad de la base estructura y camilla. | 53 |
| Tabla 4.18 Pruebas realizadas del dispositivo..... | 61 |

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA

1.1 Planteamiento del problema

El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Otavalo, dentro de sus múltiples servicios dirigidos a la ciudadanía, ejecuta desde el año 2014 un proyecto social que actualmente se denomina “Unidad de Rehabilitación y Medicina Preventiva la Joya” enfocado al beneficio de los niños y preadolescentes que padecen diferentes tipos de discapacidad, dentro de las cuales, se puede resaltar la Parálisis Cerebral Infantil (PCI) leve-moderada cuya afectación radica en la motricidad de todo el cuerpo humano, ubicándose como una de las discapacidades con mayor porcentaje de atención y a la vez con mayor grado de dificultad al momento de tratarla.

La PCI es un trastorno que afecta al movimiento y postura causando limitación en la actividad del niño en desarrollo, con impacto inmediato en su calidad de vida. Esta enfermedad, es una causa de movimiento no progresivo, con múltiples factores que se relacionan principalmente con el período prenatal, perinatal y aproximadamente dos casos por mil nacidos vivos tienen este problema [1].

Actualmente, la Unidad de Rehabilitación no cuenta con dispositivos de asistencia que permitan realizar terapias físicas que ayuden a mejorar la movilidad de columna, cadera, rodillas y tobillos. Además, la falta de personal en la rehabilitación y la cantidad de pacientes que acuden a beneficiarse en la unidad genera una ralentización en el avance del tratamiento de cada paciente; debido a que todos los procesos de rehabilitación se realizan de forma manual, por lo cual, no se llega a culminar el objetivo.

En la actualidad, este tipo de productos tienen un costo que oscila entre los 3000 y 5000 dólares. Estos son equipos que se fabrican a nivel mundial, pero tienen un costo de adquisición elevado debido a que son exclusivos. Ecuador no se escapa de esta realidad, de hecho, en el país hay que sumarle el costo de importación, aranceles aduanales y ganancia de la empresa distribuidora; en consecuencia, este producto en el país puede superar los 3000 dólares.

Considerando los problemas antes expuestos de la “Unidad de Rehabilitación y Medicina Preventiva la Joya” es prioritario apoyar a esta institución. Dado lo anterior, se

presenta un proyecto de investigación basado en la construcción e implementación de un bipedestador automatizado para la rehabilitación de niños y preadolescentes.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Implementar un bipedestador automatizado (prototipo) para realizar terapias físicas de rehabilitación en pacientes infantiles y preadolescentes.

1.2.2 Objetivos específicos

- Identificar los aspectos relacionados a la parálisis cerebral infantil, dispositivos de bipedestación y los medios empleados para las terapias de rehabilitación en el centro de atención seleccionado.
- Diseñar el dispositivo de bipedestación en el aspecto estructural y de automatización.
- Construir el prototipo del bipedestador automatizado.
- Evaluar el bipedestador a partir de pruebas de funcionamiento.

1.3 Justificación

El desarrollo de dispositivos de asistencia a terapias de movilidad genera algunos beneficios: mejora la calidad de vida de la población que presenta discapacidad y tienen dificultades asociadas a la adaptación de diferentes posiciones del cuerpo, ayuda al equilibrio del cuerpo del niño/a, asiste al desarrollo musculo esquelético, activa la presión sanguínea, ayuda a la digestión, espasticidad (trastorno motor asociado a múltiples enfermedades y discapacidades) y permite desarrollar las actividades diarias con más facilidad, especialmente para niños con parálisis cerebral, además brinda seguridad al momento de realizar la terapia, y también proporciona un beneficio psicológico al paciente por darle la oportunidad de estar de pie [2].

Además, existe la posibilidad de atender un mayor número de pacientes con esta condición, ya que agiliza la terapia física; asimismo, el personal puede adaptarse a nuevos cambios tecnológicos que le ayudarán a realizar su trabajo de una forma más fácil y eficientemente.

En los últimos años, el desarrollo científico y tecnológico en ingeniería, mecánica, electricidad, computación y robótica le han dado un enorme impulso y desarrollo a la rehabilitación integral. Este avance significativo en nuevas tecnologías se ha traducido, por ejemplo, en la elaboración de sillas de ruedas eléctricas y bipedestadores de alta

calidad, con tecnologías desarrolladas principalmente en Estados Unidos, Europa y Asia, con los cuales se ha mejorado la calidad de vida de personas con discapacidad física, facilitándoles la integración social, proporcionando a los niños un medio de movilidad independiente que les permita una participación en sus vidas diarias [2].

En la actualidad estos equipos se fabrican a nivel mundial, pero tienen un costo alrededor de 3000 a 5000 dólares, de esta manera, el proyecto se desarrollará con el fin de crear este dispositivo a un costo más económico, y de fácil adquisición por los materiales e insumos que se utilizará luego de su investigación análisis, diseño y construcción.

La Universidad Técnica del Norte (UTN) es una institución de educación superior, pública y acreditada, dedicada a la formación de profesionales de excelencia, críticos, humanistas, líderes y emprendedores con responsabilidad social; genera, fomenta y ejecuta procesos de investigación, de transferencia de saberes, de conocimientos científicos, de tecnológicos y de innovación; se vincula con la comunidad, con criterios de sustentabilidad para contribuir al desarrollo social, económico, cultural y ecológico de la región y del país. Por consiguiente y en cumplimiento de los postulados de la misión de la UTN, esta institución superior motivará al desarrollo de la tesis enunciada a fin de ayudar a los niños, niñas y preadolescentes antes mencionados, en la “Unidad de Rehabilitación y Medicina Preventiva la Joya” localizado en el cantón Otavalo.

1.4 Alcance

La presente propuesta se basa en la realización del diseño de un dispositivo de bipedestación dirigido a niños y preadolescentes con PCI leve-moderado. Posteriormente, se llevará a cabo la construcción y ensamblaje de los componentes. Finalmente, se realizarán las pruebas de funcionamiento que permitirán evaluar el correcto desempeño del equipo de terapias de movilidad.

CAPITULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes

Se presenta una revisión de trabajos realizados en torno al diseño de dispositivos de bipedestación con el propósito de conocer principios fundamentales de diseño y funcionamiento.

La parálisis cerebral es un trastorno que afecta la corteza motora del cerebro, se presenta en los niños, y causan problemas de movimiento, esto genera que no pueden realizar algunos ejercicios voluntarios y mantener determinadas posturas, en consecuencia, gatear, sentarse o pararse es más difícil para estos niños. Esto generalmente ocurre debido a una lesión a lo largo del embarazo durante el desarrollo fetal y puede manifestarse desde el embarazo hasta los primeros tres años de vida, aunque el trastorno no se desarrolle, las manifestaciones físicas, psicológicas e incluso sociales varían a medida que el niño crece [3].

Para ello, especialistas como fisioterapeutas realizan terapias físicas con el fin de ayudar al paciente a que pueda ponerse de pie, ya que la bipedestación entre los beneficios médicos puede indicar la reducción de la descalcificación u osteoporosis, debido a que el cuerpo humano está fisiológicamente preparado para adoptar la postura bípeda. Si la bipedestación no se realiza de forma frecuente, los huesos se debilitan y, por lo tanto, se descalcifican; además, una postura bípeda puede fortalecer el sistema cardiovascular y reducir la inflamación de las extremidades inferiores, también ayuda a reducir las lesiones provocadas por la postura sentada, incluida la aparición de úlceras o llagas provocadas por úlceras[4].

La tendencia actual y el objetivo de la investigación en el campo de la rehabilitación para personas con trastornos del movimiento es desarrollar dispositivos de asistencia móviles basados en soluciones tecnológicas avanzadas derivadas de la robótica y la automatización electrónica, para ello la siguiente sección contiene información sobre dispositivos de ayuda utilizadas para lograr posturas bípedas [3]. Esta información se recopila de diversas fuentes, como catálogos, revistas médicas, tesis, etc.

El bipedestador se usa comúnmente en el entrenamiento de rehabilitación para niños con parálisis cerebral (PC), pero el diseño y la efectividad clínica pocas veces se han investigado. En la figura 2.1 se presenta un bipedestador ajustable, para el cual se

modificó un bastidor de pie con una placa ajustada para los pies con un control separado, un actuador lineal, espuma duradera de alta densidad y una superficie de la mesa ajustada con rejilla de plomo Acme y bloque deslizante.

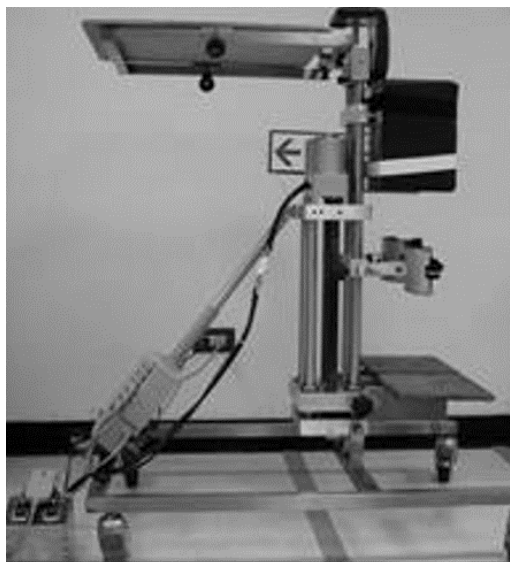


Figura 2 1 Bipedestador ajustable PCI

Para desarrollar el estudio se reclutaron seis niños con parálisis cerebral espástica cuadripléjica (de $4,6 \pm 1,3$ años) y se les realizó una evaluación electromiográfica (EMG) con el uso de la bipedestación tradicional y modificada durante 15 minutos, con un intervalo de dos semanas[5].

Los estudios de EMG mostraron una disminución significativa de las actividades del tibial anterior bilateral y del gastrocnemio después de usar la bipedestación modificada durante 6 a 15 minutos. El análisis también mostró un aumento significativo en el índice de ajuste y satisfacción con el marco modificado. Esta modificación reduce la espasticidad y el tono muscular en los niños con PC y ayuda a mejorar la eficacia del programa de rehabilitación[5].

Por otra parte, se presenta el diseño de un dispositivo que permite potenciar las terapias de pie, en donde se estudió el movimiento del cuerpo humano al ponerse de pie, el cual fue simulado con un mecanismo de paralelogramo, como se muestra en la figura 2.2. La investigación se basa específicamente en la observación directa, una revisión del estado del arte, programas de diseño CAD y creación de prototipos. El dispositivo que realizaron opera en las modalidades de sentado a de pie, y de acostado a de pie, adicionalmente brinda la posibilidad de ejercitar los miembros superiores e inferiores, ya que está

equipado con un sistema de palancas y pedales de diseño para simular una marcha suave [6].

Las expectativas con el prototipo EBI 3 están basadas en que ayude a reducir, de forma significativa, el tiempo y esfuerzo que se requiere en las terapias de bipedestación, permita maximizar el aprovechamiento de espacios en las áreas de fisioterapia al incorporar al menos tres terapias que se realizaban de manera individual en un mismo dispositivo, y permita reducir el número de terapeutas necesarios para la terapia (al menos cuatro), a máximo un operador y el terapeuta [6].

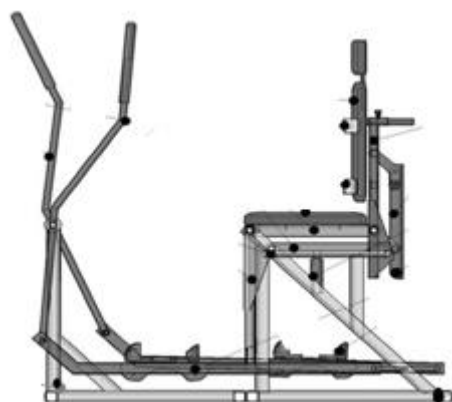


Figura 2 2 Diseño de dispositivo de Bipedestación

Adicionalmente, se considera una estrategia tecnológica para diseñar un dispositivo de asistencia para estudio biomecánico del movimiento Sit-To-Stand (STS). Los algoritmos de control se implementan en el entorno de ejecución TwinCAT. La comunicación entre el componente y el ordenador de control se garantiza a través del bus de campo EtherCAT, y el objetivo de esta arquitectura radica en el hecho de que permite un rápido desarrollo de un prototipo de investigación con los mismos problemas de seguridad que se encuentran en una máquina industrial [7].

El STS-Care diseñado se envió al hospital de Brest para el estudio biomecánico del STS en donde el protocolo experimental consiste en ejecutar una trayectoria STS definida por el personal médico, como se muestra en la figura 2.3. Los experimentos se llevaron a cabo en 7 personas sanas y 7 personas que han sufrido un accidente cerebrovascular para ellos tomaron de referencia la edad, el peso y la talla promedio que fueron de 55 ± 16 años, $70 \text{ kg} \pm 11 \text{ kg}$ y $173 \text{ cm} \pm 13 \text{ cm}$.

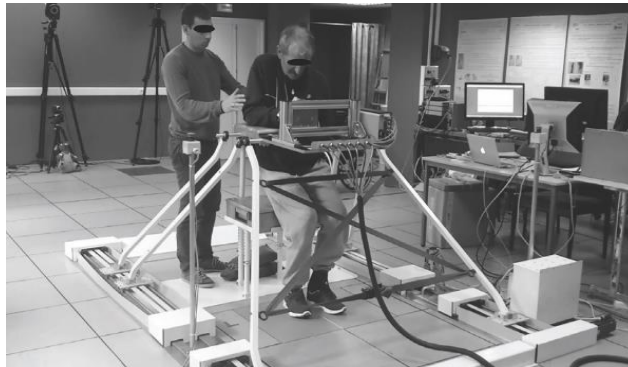


Figura 2 3 Diseño y control de un dispositivo de asistencia

Otro aspecto que es necesario considerar en el diseño de bipedestadores es la ergonomía. Por ello se estudia un dispositivo de bipedestación antropométrico y ergonómico, especialmente diseñado para un niño con parálisis cerebral distónica, donde la persona pasa de una postura de sedestación a bipedestación, a través de un sistema mecánico y electrónico, como se muestra en la figura 2.4. Para este cambio de posición, se evaluó la estabilidad del componente calculando el centro de gravedad en los dos estados, garantizando así la seguridad del niño en el dispositivo [8].

Las especificaciones de diseño de la órtesis se basaron en datos antropométricos y tienen en cuenta el valor esperado de la etapa final de su crecimiento, además con el uso de un software comercial se modeló y optimizó el diseño. Para su construcción se seleccionaron los materiales considerando aspectos relacionados con la ergonomía y la disponibilidad del mercado local. Este bipedestador cuenta con un peso de 22.5 kg, y la elevación del paciente se logra mediante un mecanismo motorizado [7].

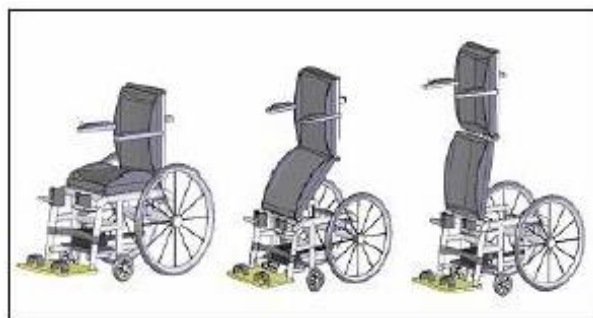


Figura 2 4 Diseño de un bipedestador ergonómico

Otras alternativas consideran bipedestadores eléctricos, que le permiten al usuario trasladarse de manera autónoma de forma bípeda, consiguiendo así que estos niños se sientan incluidos en las actividades diarias que realizan [9].

En cuanto a las recomendaciones de diseño del dispositivo bipedestador propuesto se concluyó que se pueden realizar cambios al prototipo actual para obtener un modelo más competitivo en el mercado y con mayor proyección. Además, su diseño final fue muy compacto donde tenía ventaja a la hora de maniobrar en espacios reducidos, no obstante, se puede mejorar la inclinación de la columna de elevación, adaptar diferentes inclinaciones a través de un mecanismo sin aumentar costos, de igual forma dentro de las ventajas de este prototipo se encuentran los materiales de bajo costo y repuestos que se pueden encontrar en el mercado nacional [8]. En la figura 2.6 se muestra el diseño propuesto de un bipedestador infantil eléctrico.

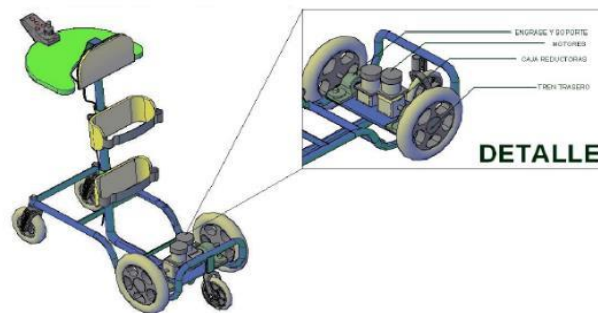


Figura 2.5 Bipedestador infantil eléctrico

Con el propósito de analizar la estabilidad de un bipedestador para ayudar a la marcha de un niño de 13 años con secuelas de parto prematuro, se llevó a cabo el rediseño geométrico de un modelo de bipedestación desarrollado previamente para pacientes con mielomeningocele, adaptando el diseño anterior a las necesidades de los pacientes, brindándoles apoyo que les permita continuar con su rehabilitación física, así como un respaldo para ayudar a corregir la postura al caminar [10], como se muestra en la figura 2.7.



Figura 2.6 Rediseño de un bipedestador para marcha asistida

Para obtener un prototipo de bipedestación para niños con espina bífida, se consideraron parámetros a manera de obtener un modelo que pueda cumplir con los requisitos necesarios del paciente, para los cuales tomaron algunos de estos factores que son; el material utilizado, la resistencia estructural, el peso de la columna, la facilidad de manejo, la facilidad de limpieza, la capacidad de expansión de la pieza donde se produce la carga, el aspecto [11]. Posteriormente, utilizaron el dispositivo para realizar un estudio de caso del procedimiento de bipedestación en un niño con espina bífida. Del mismo modo, el prototipo diseñado proporcionó las condiciones adecuadas para la postura de pie y ciertas condiciones musculoesqueléticas del paciente estudiado [10]. En la figura 2.8 se muestra el modelo obtenido.



Figura 2.7 Prototipo de bipedestador para pacientes pediátricos

Adicionalmente, se considera un bipedestador para niños con PC entre los 2 y 4 años (ver figura 2.8). Para ello, se seleccionaron los pacientes y analizaron sus necesidades, tomando en cuenta cosas como las medidas arquitectónicas del hospital, facilidad de uso y estética, para así obtener un bipedestador personalizado que pueda ser utilizado en el hospital. Este bipedestador cumplió con las necesidades requeridas que era llevar a cabo el control de una buena postura desde la temprana edad, para así ayudar al personal de fisioterapia del hospital del mismo modo también a pacientes [12].



Figura 2 8 Bipedestador infantil para pacientes con parálisis cerebral

Otro importante desarrollo es una silla de ruedas de bipedestación adaptada a la postura natural del ser humano, como se muestra en la figura 2.9. En este dispositivo los resortes instalados en dos vértices no adyacentes pueden acumular energía con un motor con menos potencia y precios más económicos, del mismo modo ahorra energía y proporciona fácilmente la potencia necesaria para elevarse. Después de la investigación y el cálculo, esta estructura de paralelogramo redujo casi un 45% de potencia en comparación con la unidad de motor puro, así mismo el esfuerzo de cada parte puede ayudar al cuerpo humano a formar un proceso natural y cómodo [13].

Este dispositivo tiene una mejor aplicabilidad que otras sillas de ruedas ya que se colocó un motor en el mecanismo y funciona de manera constante mediante el uso del motor; así mismo, el motor se puede usar para controlar la velocidad de elevación. Por otra parte, para la conducción se diseñó un cinturón para lograr una postura natural durante la bipedestación, de esta manera los usuarios con discapacidad motriz pueden alcanzar objetos colocados en lo alto, pronunciar un discurso en un podio, entre otras [12].



Figura 2 9 Silla de ruedas de bipedestación

2.2. Condiciones que requieren bipedestación

2.2.1 Aspectos generales de bipedestación

2.2.1.1 Bipedestación

La bipedestación es una postura típica de los seres humanos se basa en mantener el cuerpo erguido bajo la acción de la gravedad, sostener las extremidades inferiores y distribuir el peso entre los pies para responder a diferentes necesidades médicas, sociales y psicológicas (ver figura 2.10). Puede promover la integración social, mejorar la circulación sanguínea, mejorar la digestión, aliviar ciertos dolores, relajar los puntos de apoyo, promover la fijación del calcio, estar a la misma altura que los demás y retrasar la aparición de la osteoporosis. Por lo general, la postura durante la bipedestación se ha investigado en niños con parálisis cerebral leve y en términos de estabilidad postural, incluida la coordinación de las estrategias de movimiento después de los cambios ambientales durante la bipedestación [14],[15].

Estudios anteriores han demostrado que los niños con parálisis cerebral tienden a tener un peor equilibrio, en términos de aumento de la postura y balanceo a comparación con otros niños con desarrollo típico, además, la capacidad de prever y adaptar la postura para predecir los movimientos se ve alterada y menos eficaz tanto de pie como sentado en los niños con parálisis cerebral en comparación con los niños de crecimiento normal [16]. A continuación, se mencionan los dos tipos de soluciones que existen para la bipedestación.

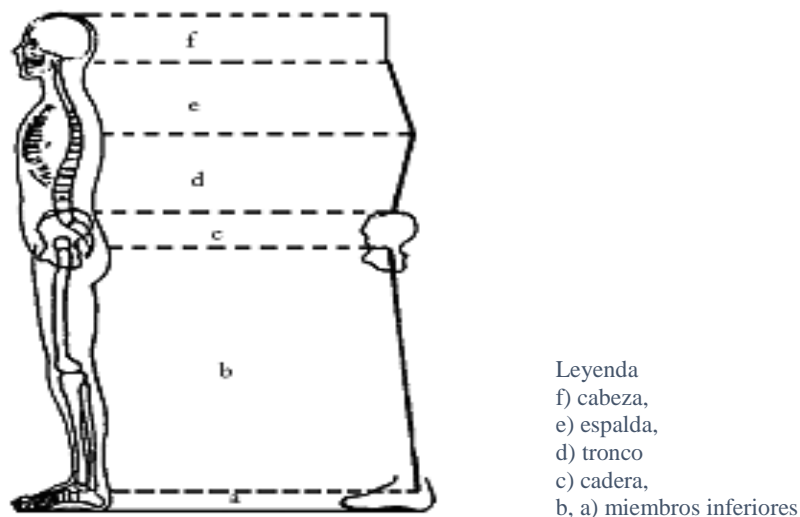


Figura 2 10 Postura bípeda correcta

2.2.1.2 Bipedestación estática

Permite mantener la postura de pie con total seguridad gracias a dos apoyos anteriores y a un apoyo posterior, además requiere la transferencia desde una silla de ruedas al producto de apoyo para la bipedestación [17].

2.2.1.3 Bipedestación dinámica

Ofrece la posibilidad de controlar uno mismo el nivel de bipedestación, elegir el horario y el tiempo de bipedestación. Evita las transferencias que se realizan fundamentalmente gracias a las sillas de ruedas bipedestadoras y esta puede provocar daños a la hora de volver a sentarse [16].

2.2.1.4 Importancia de la bipedestación

Los seres humanos están diseñados para estar de pie, cuando el desarrollo no se ve impedido, los niños comienzan a ponerse de pie desde los nueve meses de edad, esto naturalmente progresa a caminar a lo largo de los muebles, luego caminar con las manos agarradas, o caminar de forma independiente desde aproximadamente los 12 meses de edad. El objetivo final es poder desplazarse de un lugar a otro a voluntad, y realizar todas las actividades lúdicas, de autocuidado del día a día que aún quedan por aprender. Cuando el desarrollo es el adecuado se toma este progreso sin prestarle importancia a esta postura [18]; sin embargo, cuando los niños tienen discapacidades físicas de moderadas a graves (por ejemplo, parálisis cerebral, espina bífida, distrofia muscular, o lesiones adquiridas) que les impiden soportar peso de forma independiente, esta progresión del desarrollo

puede no tomar el lugar o las habilidades ya adquiridas pueden perderse. Es posible que no sea posible estar de pie o caminar de forma independiente. Es por esto que se vuelve importante mantener una postura erguida ya sea con ayuda de dispositivos como los bipedestadores o verticalizadores [17].

2.2.1.5 Beneficios de la bipedestación

Actualmente, como ocurre con la mayoría de los temas sobre el manejo postural, la evidencia de investigación publicada es limitada con respecto a la efectividad del uso de bipedestadores. No obstante, la investigación que existe, y la experiencia clínica de los terapeutas, indican beneficios significativos de estar de pie por una variedad de razones fisiológicas y psicológicas que se revisan a continuación [17].

- **Estar de pie aumenta la densidad ósea y reduce el riesgo de fracturas.**

La postura bípeda puede hacer que la densidad ósea sea un indicador de resistencia de los huesos, porque además del crecimiento óseo normal, se requiere una buena dieta y soporte de peso (es decir, resistencia a la gravedad), por lo que la postura bípeda es muy importante para esta medida de fuerza ósea. Sin embargo, los niños con discapacidades generalmente no pueden aumentar la densidad ósea porque no pueden realizar las funciones como; correr, caminar y estar de pie. Esto provocará fracturas posteriores, baja densidad ósea, problemas de postura y para caminar. Estos problemas solo pueden evitarse eligiendo la postura bípeda del paciente como parte importante de su vida diaria [17].

- **Estar de pie puede estirar los músculos y prevenir contracturas.**

Para los niños que tienen dificultad para pararse de forma independiente debido al aumento del tono muscular, debilidad o falta de equilibrio, aumenta el riesgo de contracturas, principalmente los músculos de la cadera, los músculos que doblan las rodillas y los dedos de los dos pies, llamados músculos gastrocnemio y sóleo, son los que más contracturas sufren el paciente con capacidades especiales. Por tanto, el desarrollo de una postura bípeda ayuda a cambiar la posición para aliviar el dolor en la contractura que se ha formado [17].

- **Mejora la respiración y el control de voz**

Cuando las personas respiran, el delgado musculo que separa la cavidad torácica de la cavidad del estómago (el diafragma transversal) se contrae. Al mismo tiempo, agranda la cavidad torácica para que los pulmones puedan tomar aire. Lo contrario sucede cuando se exhala, por lo que cuando al ponerse de pie, el diafragma tiene más espacio para la expansión y la contracción, lo que significa que se puede inhalar y exhalar con mayor facilidad, profundidad y eficacia. Por otro lado, la modulación y el control de la voz también se mejoran debido al apoyo respiratorio que recibe una persona mientras está de pie [17].

- **Ayuda a la digestión, función intestinal y drenaje vesical.**

Con la ayuda de la gravedad, la postura de los pies también puede ayudar al proceso de digestión, gracias a la activación de los músculos del estómago, por tanto según su capacidad a lo largo del día, es importante que una persona se mantenga en la postura bípeda durante un cierto período de tiempo. Además, la ausencia de infección urinaria también beneficiará a la vejiga [17].

- **Permanecer de pie ayuda a los niños a interactuar cara a cara con otros infantes**

Una de las acciones más importantes en la infancia es interactuar y convivir con los niños del entorno. Sin embargo, cuando los discapacitados no pueden pararse, caminar o correr, se convertirá en un problema y ciertos trastornos mentales pueden eventualmente conducir a depresión y problemas. Estos problemas posteriormente afectan no solo al niño, sino también a la persona responsable. Por lo tanto, es importante estar de forma bípeda para poder interactuar cara a cara con los demás y pueda desarrollarse de manera adecuada socialmente [17].

2.3 Antropometría

Los niños con parálisis cerebral tienen estándares de desarrollo diferentes a los niños normales, por lo que se debe considerar su composición corporal, densidad ósea, masa muscular, masa grasa y disminución del crecimiento. Así mismo, hay que tomar en cuenta que sus patrones de crecimiento en la pubertad son diferentes, por ende sus huesos también no son iguales [19].

Existen dificultades en las valoraciones antropométricas de los niños con parálisis cerebral, especialmente en la obtención de medidas de altura fiables. Las contracturas de las articulaciones, la debilidad muscular, la escoliosis, los movimientos involuntarios y la

escasa cooperación de los niños hacen que la medición directa de la altura sea inexacta, poco fiable y, a veces, imposible de obtener [18].

Existe información en la cual se puede encontrar que, en esta población, la confiabilidad interobservador, la desviación media y estándar de las mediciones tomadas en posición de pie o supina tendrán valores similares a los niños sanos. Sin embargo, en el caso de PC severa, generalmente es imposible medir la longitud en la posición supina, por lo que es necesario considerar métodos de medición alternativos para otras partes del cuerpo, como la longitud de la tibia y la altura de la rodilla, y compararlos con los estándares disponibles ya que estos se relacionan con la altura de los niños sanos y los niños con PC, además se ha demostrado que son clínicamente útiles como índice sustituto de la altura de los niños y adolescentes con PC [20].

2.3.1 Toma de medidas antropométricas

Para recopilar medidas de (peso, tamaño y / o longitud), hay que pesar al niño mientras uno de los padres lo abraza y luego se debe restar el peso del adulto. Debido a la escoliosis, las contracturas articulares o la mala coordinación, a menudo es difícil obtener medidas confiables de longitud o altura. Sin embargo si el tamaño no se puede obtener directamente, se usa medidas segmentadas (como la longitud del brazo o la pierna) a partir de las cuales se puede estimar la talla [21].

2.3.2 Cálculo de la talla utilizando la altura talón-rodilla

La talla se puede estimar por el método de la altura del talón – rodilla (ver figura 2.11), pero no son específicos de la parálisis cerebral, sin embargo; es una referencia que puede ayudar. Para ello, se deben realizar los siguientes pasos: Doblar las rodillas en ángulo recto (estirado en la cama con pie flexionado o plano sobre el suelo), y medir la distancia en centímetros desde la base de su talón hasta su rodilla [22]. Una opción para determinar la altura es la siguientes formulas:

$$\begin{aligned} \text{Varones} = & (2.02 * \text{altura talón(en cm)} - \text{rodilla (en cm)}) - (0.02 * \text{edad}) & \text{(ec. 2.1)} \\ & + 64.19 \text{ cm} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Mujeres} = & (1.83 * \text{altura talón(en cm)} - \text{rodilla (en cm)}) - (0.24 * \text{edad}) & \text{(ec.2.2)} \\ & + 84.88 \text{ cm} \end{aligned}$$

En estas ecuaciones se observa que la edad es muy importante como indicador para la estimación de la estatura según [19].



Figura 2 11 Medición de altura talón-rodilla

2.4 Componentes generales de un bipedestador

El bipedestador consta de la siguiente estructura básica:

Mecanismo de acción

- **Hidráulico:** Pistones hidráulicos accionados manualmente o con el pie.
- **Eléctrico:** Motores eléctricos basados en baterías recargables.

Armazón

Corresponde a la estructura principal que puede estar fabricado con distintos materiales, tales como: madera y/o acero inoxidable principalmente.

Soportes

- **Pélvico:** su función principal es acomodar y estabilizar la zona pélvica para que el usuario pueda adoptar la postura correcta al estar de pie. Son regulables en altura y asegurados con almohadillas de espuma de alta densidad y velcro.
- **Rodillas:** su función principal es mantener y estabilizar la rodilla. Son regulables en altura, con almohadillas acolchadas de espuma de alta densidad y velcro de sujeción.

Sujeciones

Consisten en bandas elásticas con velcro o correas de tela de polipropileno o nailon que permiten a los usuarios fijar completamente la estructura del bipedestador para evitar caídas. Se pueden utilizar en la cabeza, el pecho, la pelvis y los tobillos según las necesidades del usuario.

Bloque abductor

Suele ser de forma ovalada y regulable en altura. Mantiene las extremidades inferiores separadas para evitar que las rodillas se deslicen hacia adentro.

Base de apoyo

Las bases de reposapiés de madera o metal generalmente están equipadas con posicionadores de pies ajustables con correas estabilizadoras, y la altura es ajustable.

Ruedas

Permiten que una persona en un bipedestador se mueva. Contiene un eje multidireccional con un sistema de bloqueo o freno.

Accesorios

- **Mesa con escotadura:** la estructura puede ser de madera o acrílica, la altura, la inclinación y la profundidad se pueden ajustar, además se pueden desmontar según las necesidades del usuario. Este accesorio permite realizar tareas sencillas en la posición bípeda y favorece la comunicación y el contacto visual.

2.5 Tipo de bipedestadores

2.5.1 Prono

Consiste en colocar al niño boca abajo y proporcionar apoyo en el torso, pelvis y extremidades, y cambiar la inclinación según la tolerancia y los propósitos del tratamiento. Es especialmente útil para los niños que sufren de hiperextensión del cuello, retracción del hueso de los hombros, tronco asimétrico, falta de equilibrio muscular o dificultad para controlar la cabeza y el tronco para resistir la gravedad. Su principal finalidad terapéutica son los beneficios fisiológicos de soportar peso estando en posición bípeda, como se muestra en la figura 2.12. El rango de ángulo de este tipo de bipedestador es de 0 a 85 °. La base o bastidor principal se inclina de vertical a horizontal mediante su respectivo mecanismo de acción que puede ser hidráulico o eléctrico [23],[24],[25].

Uno de los principales objetivos del bipedestador tipo prono es promover la activación de los músculos de la cabeza y el cuello, la pérdida de peso de las extremidades inferiores y la tolerancia de la posición bípeda. Se recomienda utilizarlo para trabajos de comunicación visual y para realizar actividades sencillas en el plano medio del usuario [1].

El lugar donde se utilizará la asistencia técnica debe tener libertad de movimiento para su instalación y manipulación. La altura máxima es de 185 cm y el ancho máximo es de unos 75 cm. Si la opción es eléctrica, se debe considerar la fuente de alimentación local. Así mismo, la mayoría de estos dispositivos son pasivos pues el usuario no controla por

sí mismo la posición, además este tipo de bipedestador cuenta con una mesa o plano horizontal [22].



Figura 2.12 Bipedestadores tipo Prono

2.5.2 Supino

El dispositivo de bipedestación supino está compuesto por dispositivos de asistencia técnica, que pueden colocar gradualmente a las personas en posición vertical y apoyarlas en posición supina, como se muestra en la figura 2.13. En esta posición, el usuario puede controlar mejor la cabeza, el torso, la pelvis, las rodillas y los pies, al mismo tiempo que puede soportar diferentes cargas de peso. Especialmente adaptado para usuarios que no tienen suficiente control antigravedad en la cabeza y hombros. El rango de ángulo de este tipo de bipedestador es de 0 a 90 grados [22], [23].

Este tipo de bipedestador tipo supino, se utiliza para aumentar la tolerancia en postura bípeda, reducir el peso de los miembros inferiores y evitar la deformidad de la cadera (displasia de cadera). Además, se puede utilizar para trabajos de comunicación visual para mejorar el estado de alerta y realizar actividades simples en el plano medio del usuario en esa ubicación. El lugar donde se utilice el equipo auxiliar debe permitir el libre movimiento para instalar y manipular el bipedestador de manera efectiva porque suelen tener una altura máxima de 185 cm y una anchura máxima de unos 75 cm [22], [23].



Figura 2 13 Bipedestador tipo Supino

2.5.3 Tabla supina vertical

El bipedestador de tabla supino está compuesto por un soporte técnico, que permite que la persona se coloque gradualmente en vertical y se apoye en una posición supina, como se muestra en la figura 2.14. Además, permite al usuario restringir y proporcionar un mejor control de la cabeza, el torso, la pelvis, las rodillas y los pies, al tiempo que permite cargas de peso variables. Es especialmente adecuado para usuarios que no han desarrollado suficiente control antigraavedad en la cabeza y hombros. Una de sus características específicas es que tiene un ángulo de 0 a 85 grados [1], [22].



Figura 2 14 Bipedestador tipo Tabla supina vertical

2.5.4 Standing

Se utiliza para niños que pueden controlar su cabeza y torso contra la gravedad, pero no controlan adecuadamente sus piernas y pelvis para mantener una postura de bipedestación estática, este tipo de bipedestador prepara las extremidades inferiores para el movimiento, promueva la simetría, la alineación musculoesquelética vertical y el crecimiento y desarrollo del acetábulo [1], este tipo de bipedestador se muestra en la figura 2.15.



Figura 2 15 Bipedestador tipo Standing

2.5.5 Standing en abducción

Este es un método de bipedestación, especialmente es adecuado para niños con cuadriplejía y paraplejía espástica cuya espasticidad del músculo aductor afecta la estabilidad de la postura en bipedestación, tratando de mantener el equilibrio de los músculos abductores débiles y alargados con la musculatura aductora (espástica). De esta forma se evita la tendencia a la deformación de las articulaciones de la cadera que, junto con el aumento de la aducción, agrava la tendencia a la displasia de cadera, además la combinación de este programa de carga con la toxina botulínica permite obtener mayores resultados [1]. En la figura 2.16 se muestra un modelo de bipedestador tipo standing.

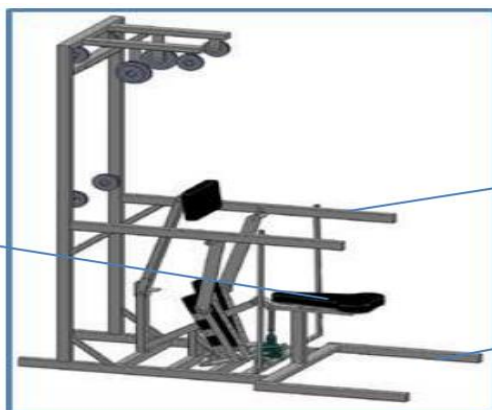


Figura 2 16 Bipedestador tipo Standing en abducción

2.5.6 Ministanding

Este bipedestador es otro tipo de standing, donde el soporte solo llega por debajo de la rodilla (ver figura 2.17). Está diseñado para niños que mantienen una posición vertical pero no pueden usar diferentes sinergias musculares para mantener el equilibrio, y para niños que no pueden producir la respuesta postural esperada a través de su propio ejercicio voluntario como disfunción vestibular y ataxia [1].



Figura 2 17 Bipedestador tipo Ministanding

CAPITULO III

MARCO METODOLÓGICO

3.1 Tipo de investigación

El trabajo de grado se basa en un modelo de investigación aplicada, que se fundamenta en estrategias en el campo de la ingeniería y busca mecanismos de desarrollo relevantes en función de los principales objetivos.

3.2 Diseño de la investigación

En esta sección se describen las etapas correspondientes al proceso completo del dispositivo bipedestador automatizado para rehabilitación de niños y preadolescentes con PC.

Etapas 1: Investigación.

En esta fase se revisa la información necesaria acerca de la parálisis cerebral infantil, en donde se llevará a cabo un estudio de la antropometría, dispositivos de bipedestación y medios empleados para terapias de rehabilitación en niños con PC.

Actividad 1: Recolección de información de bipedestadores realizados.

Actividad 2: Investigación relacionada con las condiciones que requieren bipedestación y medidas antropométricas.

Actividad 3: Evaluación de los medios que se emplean para las terapias de rehabilitación en pacientes con parálisis cerebral.

Etapas 2: Estructura mecánica

En esta etapa se realiza el diseño estructural del dispositivo de bipedestación automatizado, tomando en cuenta los parámetros de diseño y especificaciones puntuales de la fisioterapeuta a cargo de la fundación.

Actividad 1: Formulación de las especificaciones del sistema, según las dimensiones, forma y movimientos que requiere el dispositivo de bipedestación.

Actividad 2: Generación de alternativas de solución.

Actividad 3: Selección de la alternativa de solución más adecuada, tomando en cuenta los criterios y limitaciones asociadas al bipedestador.

Actividad 4: Planteamiento del diagrama de cuerpo libre del dispositivo de bipedestación.

Actividad 5: Desarrollo del cálculo analítico de los elementos estructurales y selección del material.

Actividad 6: Diseño del dispositivo de bipedestación utilizando software libre (Solidworks o AutoCAD).

Actividad 7: Estudio de movimiento del dispositivo ensamblado.

Actividad 8: Selección de elementos mecánicos comerciales.

Etapa 3: Automatización del dispositivo de bipedestación

En esta etapa se efectúa el análisis de los sensores, controladores, actuadores y su posterior automatización del dispositivo de bipedestación con su función de rehabilitación de acuerdo con las especificaciones requeridas.

Actividad 1: Desarrollo de criterios, especificaciones y restricciones del sistema automático a diseñar para producir algunas soluciones alternativas.

Actividad 2: Generación de una solución a las alterativas planteadas.

Actividad 3: Elaboración del flujograma para proceder con la programación del dispositivo de bipedestación.

Actividad 4: Selección de actuadores y controladores comerciales.

Actividad 5: Estudio de la factibilidad del dispositivo automatizado.

Etapa 4: Construcción y ensamblaje

En esta etapa se realiza la compra de todos los elementos, electrónicos y mecánicos, para realizar a su vez su posterior construcción y ensamblaje.

Actividad 1: Adquisición de materiales mecánicos y electrónicos para la fabricación del dispositivo bipedestador.

Actividad 2: Construcción de la estructura mecánica.

Actividad 3: Implementación de actuador.

Etapa 5: Pruebas de funcionamiento

En esta etapa se realizan pruebas de funcionamiento del dispositivo de bipedestación en personas sanas, para verificar los resultados.

Actividad 1: Realización de pruebas de funcionamiento del dispositivo de bipedestación con personas sanas.

Actividad 2: Elaboración de manual de operación de usuario para su correcta utilización.

CAPITULO IV

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Este capítulo se describe el diseño del dispositivo bipedestador automatizado para rehabilitación de niños y preadolescentes con PC, donde se parte del diseño conceptual, en el que se define la matriz de calidad para definir las principales necesidades de los usuarios y sus respectivas características técnicas. Con base en los resultados, se establecen los subsistemas correspondientes. Se proponen alternativas para el diseño de cada elemento evaluando las ventajas y desventajas de cada elemento para seleccionar la mejor alternativa. Finalmente, se realiza el dimensionamiento y cálculo de cada elemento que pasará a formar parte del bipedestador. De igual forma, se lleva a cabo el diseño del sistema automatizado con los requerimientos y características específicas que satisface a las exigencias del dispositivo.

4.1 Especificaciones del sistema a diseñar

A continuación, se presentan las limitaciones y características de diseño que deben tomarse en cuenta para la correcta selección de materiales, con la finalidad de alcanzar un óptimo desempeño del dispositivo en su posterior funcionamiento.

- **Seguridad:** el dispositivo bipedestador debe brindar seguridad al paciente y personal de asistencia, con el objetivo de no sufrir caídas mientras se realiza la rehabilitación.
- **Adaptabilidad:** el dispositivo debe adaptarse a las diferentes estaturas.
- **Ergonomía:** debe brindar una postura cómoda al paciente al momento de utilizar el dispositivo.
- **Costo:** el dispositivo bipedestador tiene que ser de un costo accesible, con el fin de que otros centros de rehabilitación puedan obtenerlo.
- **Vida útil:** el bipedestador mediante un mantenimiento preventivo debe ser capaz de funcionar con normalidad al menos cuatro (4) años.
- **Peso del dispositivo:** debe ser de un peso tal que el personal, que lleva a cabo la rehabilitación, lo pueda mover cuando lo requiera.
- **Materiales:** debe ser de un material resistente ya que va a soportar diferentes cargas.

- **Espacio adecuado:** la longitud total del dispositivo no debe sobrepasar los 185 centímetros de alto y un ancho de 75 centímetros, ya que estas son las medidas más comunes que se pueden encontrar.
- **Angulo de utilización del dispositivo:** Este tipo de bipedestador posee un grado de angulación que va desde 0 a los 90 grados.
- **Automatismo:** debe cumplir con los requerimientos establecidos de automatización.
- **Antropometría:** el dispositivo debe ser dimensionado acorde a las medias antropométricas de los niños de la fundación.
- **Innovación:** el dispositivo debe procurar ser diferente a dispositivos ya existentes.

4.2 Planteamiento de alternativa de solución

Tomando en cuenta las especificaciones del sistema a diseñar, se plantean dos alternativas de solución que satisfacen estas necesidades.

4.2.1. Primera alternativa de solución

La estructura mecánica está conformada por un total de 24 piezas, en su mayoría son perfiles tubulares cuadrados y barras rectas de conexión, como se muestra en la figuras 4.1 y 4.2. Para llevar a cabo la rehabilitación del paciente, se coloca en posición decúbito ventral y, con la ayuda de la fisioterapeuta a cargo, se sube al bipedestador (el cual debe estar en la posición supino ilustrado en la figura 4.3-b); en donde el paciente apoyará todo su cuerpo, distribuido en el soporte de cabeza (10), soporte de espalda (9), soporte de cadera (11), soporte de rodillas (13) y base de pies (16). Estos últimos elementos se encuentran unidos al soporte espaldar (8) y soporte piernas (12).

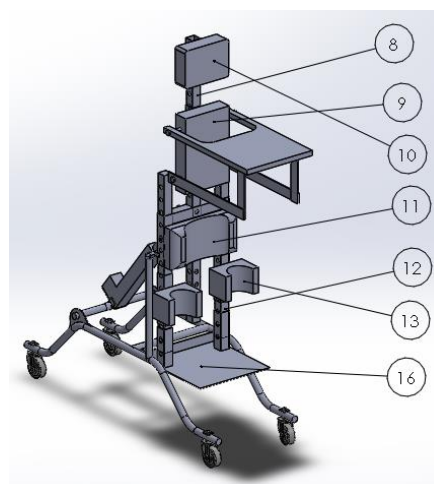


Figura 4 18 Alternativa de solución Nro. 1 vista isométrica

Una vez que el paciente se encuentra en la posición supina, se activará un actuador lineal, compuesto por base actuador (3), cuerpo actuador (5), eje actuador (6), acople actuador (7), pasador superior actuador (15), para posición horizontal en posición vertical (bipedestado, como se observa en la figura 4.3-a). El sistema del actuador lineal está sujetado en el soporte base estructura (4). La base estructura (4) consta de unas ruedas (22). Las ruedas están acopladas con tornillos (23), capuchón rueda (19) y un pasador actuador (2). Además, el pasador superior actuador (15) está sujeto con el soporte de cadera (11).

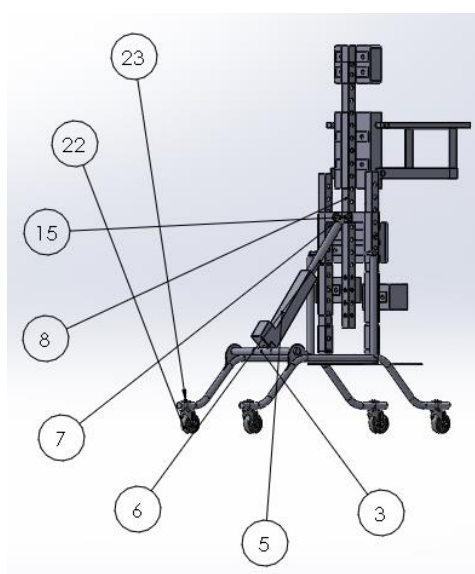


Figura 4 19 Alternativa de solución Nro. 1 vista posterior

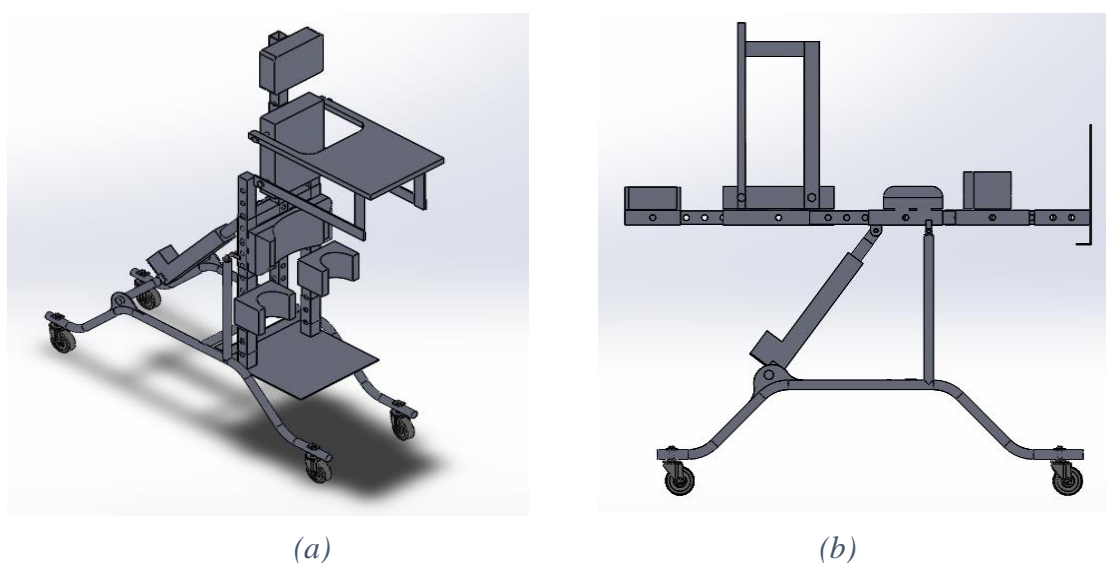


Figura 4 20 Alternativa de solución Nro. 1: (a) vista isométrica (posición bipedestado), (b) vista lateral izquierda (posición supina)

En la tabla 4.1 se indican los componentes de la alternativa de solución Nro. 1.

Tabla 4 1 Componentes primera alternativa de solución

| N.º DE ELEMENTO | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD |
|----------------------------|---------------------------------|-----------------|
| 1 | Pasador del actuador | 1 |
| 2 | Base de la estructura | 2 |
| 3 | Base actuador | 1 |
| 4 | Soporte base estructura | 1 |
| 5 | Cuerpo actuador | 1 |
| 6 | Eje actuador lineal | 1 |
| 7 | Acople actuador | 1 |
| 8 | Soporte espaldar | 1 |
| 9 | Soporte espalda | 1 |
| 10 | Soporte cabeza | 1 |
| 11 | Soporte cadera | 1 |
| 12 | Soporte piernas | 2 |
| 13 | Soporte rodilla | 2 |
| 14 | Pasador mesa | 7 |
| 15 | Pasador superior actuador | 1 |
| 16 | base pies | 1 |
| 17 | Pasador soporte base estructura | 2 |
| 18 | Topes | 1 |
| 19 | Capuchón Rueda | 4 |
| 20 | Perno sujetador | 4 |
| 21 | Tornillo | 4 |
| 22 | Rueda | 4 |
| 23 | Tuerca | 8 |
| 24 | Mesa | 1 |

4.2.2. Segunda alternativa de solución

El dispositivo de bipedestación está conformado por un total de 20 piezas, de forma tubular, y un sistema de actuador lineal tal como se muestra en las figuras 4.4 y 4.5.

Esta alternativa se caracteriza por iniciar el proceso de rehabilitación colocando el bipedestador en posición supino (ver figura 4.5-a), posteriormente la fisioterapeuta de turno coloca al paciente en posición de cúbito ventral (ver figura 4.5-b) para luego ser subido al bipedestador. En efecto, el paciente apoyará su cuerpo en los soportes de cabeza (14), espalda (16), cadera (17) y rodillas (18) que se encuentran sujetas a la camilla (6).

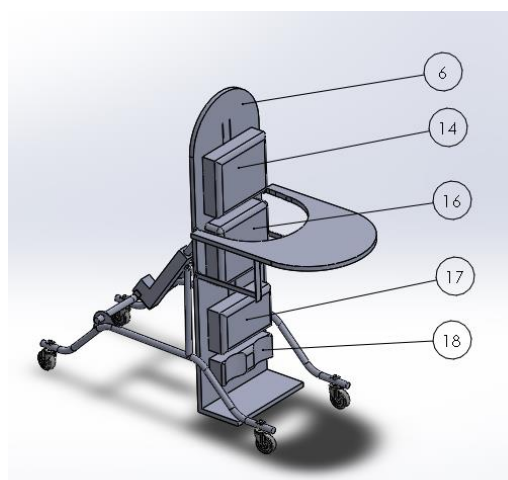


Figura 4 21 Alternativa de solución Nro. 2

Una vez que el paciente se encuentra en la posición supino (ver figura 4.5-a), se activará el sistema del actuador lineal, el cual está compuesto por: base (3), cuerpo (4), eje (5), acople (8), y un pasador base superior (7). El sistema del actuador lineal está sujeto a la camilla del bipedestador (6) mediante dos pasadores laterales (15), la base estructura del bipedestador cuenta con 4 ruedas (12) las cuales están acopladas con tornillos (11) y recubiertos por capuchones de rueda cada una (9). Por otra parte, el pasador base de este (2) sirve como soporte tanto para cuerpo del actuador lineal (4) como para la base de la estructura del bipedestador (1). De esta manera, se logrará adoptar una posición vertical (ver figura 4.5-b) hacia una posición horizontal o viceversa y finalmente el dispositivo cumple su función de bipedestado.

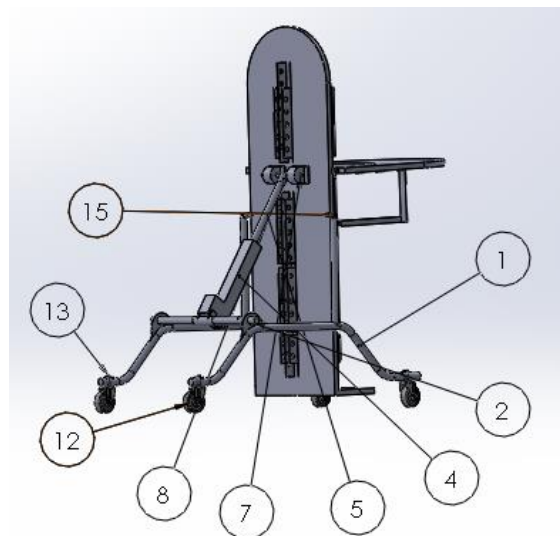


Figura 4 23 Alternativa de solución Nro. 2 vista posterior

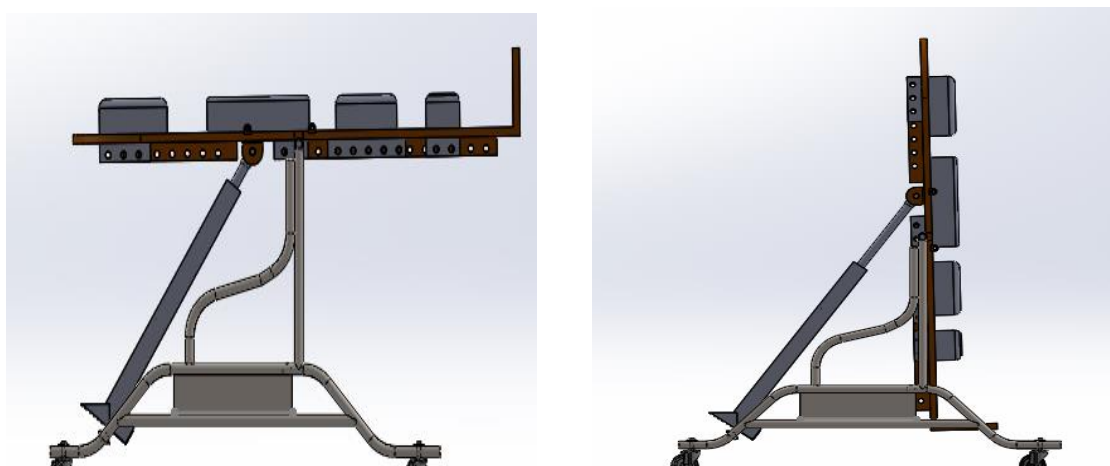


Figura 4 22 Alternativa de solución Nro. 2: (a) vista isométrica (posición supina), (b) vista lateral izquierda (posición bípeda)

En la tabla 4.2 se indican los componentes de la segunda alternativa de solución.

Tabla 4. 2 Componentes de la segunda alternativa de solución

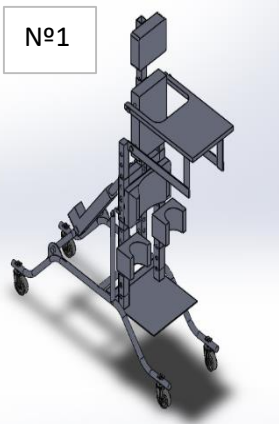
| N.º DE ELEMENTO | DESCRIPCIÓN | CANTIDAD |
|------------------------|-----------------------|-----------------|
| 1 | Base de la estructura | 2 |
| 2 | Pasador base | 1 |
| 3 | Base actuador | 1 |
| 4 | Cuerpo actuador | 1 |

| | | |
|----|-----------------------|---|
| 5 | Eje del actuador | 1 |
| 6 | Camilla | 1 |
| 7 | Pasador base superior | 1 |
| 8 | Acople actuador | 1 |
| 9 | Capuchón rueda | 4 |
| 10 | Perno sujetador | 4 |
| 11 | Tornillo | 4 |
| 12 | Rueda | 4 |
| 13 | Tuerca | 8 |
| 14 | Soporte cabeza | 1 |
| 15 | Pasador lateral | 2 |
| 16 | Soporte espalda | 1 |
| 17 | Soporte cadera | 1 |
| 18 | Soporte rodilla | 1 |
| 19 | Pasador mesa | 4 |
| 20 | Mesa | 1 |

4.3. Selección de la mejor solución

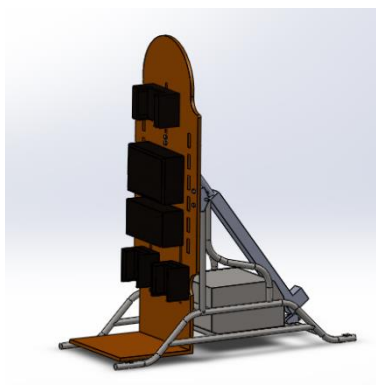
En la tabla 4.3 se muestran las ventajas y desventajas de las propuestas de solución desarrolladas.

Tabla 4.3 Ventajas y desventajas de las alternativas propuestas

| Alternativa de solución | Ventajas | Desventajas |
|---|---|---|
|  | <ul style="list-style-type: none"> • Dispositivo seguro y ergonómico. • Sistema estable y rígido Fácil movilidad • Dispositivo ajustable | <p>Comprende muchos elementos, lo que implica un mayor costo y peso</p> |

- Provee una postura adecuada al paciente
- Facilidad de uso

Nº2



- Dispositivo de bipedestación estable y compacto
- Fácil traslado
- Dispositivo de bipedestación ajustable
- Seguro y ergonómico
- Provee una postura adecuada al paciente
- Facilidad de uso

4.3.1 Aplicación de criterios

Para seleccionar la mejor alternativa se lleva a cabo la evaluación de las alternativas partiendo del método de aplicación de criterios, identificándolos como sigue:

Ergonomía (C1): debe brindar una postura cómoda al paciente al momento de utilizar el dispositivo.

Costo (C2): el dispositivo bipedestador tiene que ser de un costo accesible, con el fin de que otros centros de rehabilitación puedan obtenerlo.

Peso del dispositivo (C3): debe ser de un peso considerable para que el personal lo pueda mover cuando lo requiera.

Materiales (C4): debe ser de un material resistente ya que va a soportar diferentes cargas.

En la tabla 4.4. se determinan el orden de importancia de los criterios de diseño.

| Ergonomía (C1) | Costo (C2) | Peso (C3) | Material (C4) | No. de veces | PCx |
|----------------|------------|-----------|---------------|--------------|-----|
| Ergonomía (C1) | | | | 3 | 5 |
| Costo (C2) | C1 | | | 1 | 2 |

| | | | | | |
|--------------------------|------------|------------|------------|------------|---|
| Peso (C3) | C1 | C3 | | 1 | 2 |
| Material(C4) | C1 | C2 | C4 | 1 | 2 |
| Orden importancia | 1ro | 2do | 4to | 3ro | |

Tabla 4.4 Ponderación de criterios

En la tabla 4.4 el criterio de ergonomía (C1), tiene un valor de 5 lo que significa que, es el mejor criterio para tomar en cuenta para el diseño.

En las tablas 4.5 a 4.8 se determina el cumplimiento de las soluciones de acuerdo con cada uno de los criterios.

Tabla 4.5 Ponderación de las soluciones de acuerdo con el criterio 1

| C1 | S1 | S2 | No. De veces | Px1= N |
|-------------------|------------|------------|---------------------|---------------|
| S1 | | | 0 | 1 |
| S2 | S2 | | 1 | 2 |
| Orden | 2do | 1ro | | |
| aceptación | | | | |

Tabla 4.6 Ponderación de las soluciones de acuerdo con el criterio 2

| C2 | S1 | S2 | No. De veces | Px1= N |
|-------------------|------------|------------|---------------------|---------------|
| S1 | | | 0 | 1 |
| S2 | S2 | | 1 | 2 |
| Orden | 2do | 1ro | | |
| aceptación | | | | |

Tabla 4.7 Ponderación de las soluciones de acuerdo con el criterio 3

| C3 | S1 | S2 | No. De veces | Px1= N |
|-----------|-----------|-----------|---------------------|---------------|
| S1 | | | 1 | 2 |
| S2 | S1 | | 0 | 1 |

| Orden | 1ro | 2do |
|-------------------|------------|------------|
| aceptación | | |

Tabla 4.8 Ponderación de las soluciones de acuerdo con el criterio 4

| C4 | S1 | S2 | No. De veces | Px1= N |
|-------------------|------------|------------|---------------------|---------------|
| S1 | | | 0 | 1 |
| S2 | S2 | | 1 | 2 |
| Orden | 2do | 1ro | | |
| aceptación | | | | |

En la tabla 4.9 se indica ponderación final que permite identificar de forma cuantitativa la mejor solución; para ello se considera el mayor valor obtenido entre las dos alternativas de solución.

Tabla 4.9 Ponderación final

| PCx | P1x | Pcx * P1x | P2x | PCx * P2x |
|------------|------------|------------------|------------|-------------------|
| PC1 | P11 | 5*1 | 5 | P21 5*2 10 |
| PC2 | P12 | 2*1 | 2 | P22 2*2 4 |
| PC3 | P13 | 2*2 | 4 | P23 2*1 2 |
| PC4 | P14 | 2*1 | 2 | P24 2*2 4 |
| X1 | | 13 | X2 | 20 |

De acuerdo con el resultado obtenido se selecciona la alternativa de solución Nro. 2.

4.5 Matriz Quality Function Deployment (QFD)

Como complemento a la sección anterior se realiza un análisis con la herramienta Quality Function Deployment (QFD) como método de diseño de productos (ver figura 4.24).

4.6 Especificaciones de la solución seleccionada

En la figura 4.25 se muestra la vista explosionada de la solución seleccionada. Por otra parte, en la tabla 4.10 se muestran los elementos a utilizar para el diseño del bipedestador.

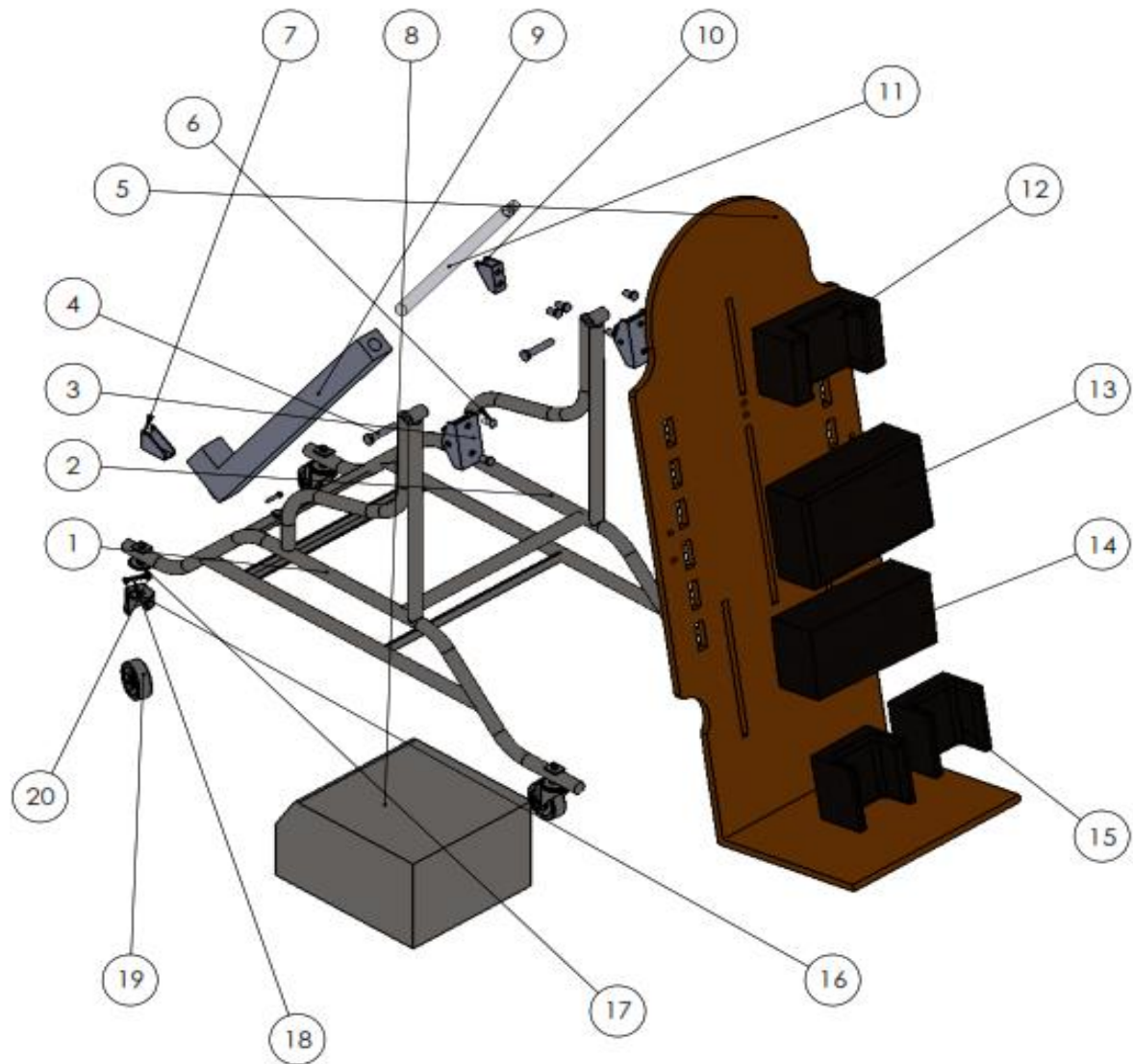


Figura 4.25 Vista explosionada 3D

Tabla 4 10 Lista de elementos del sistema a diseñar

| N.º DE ELEMENTO | N.º DE PIEZA | CANTIDAD |
|------------------------|--------------------------|-----------------|
| 1 | Base estructura_1 | 1 |
| 2 | Base estructura_2 | 1 |
| 3 | Bisagra | 2 |
| 4 | Pasador | 2 |
| 5 | Camilla | 1 |
| 6 | Pasador camilla | 2 |
| 7 | Actuador soporte | 2 |
| 8 | Caja batería | 1 |
| 9 | Cuerpo Actuador | 1 |
| 10 | Pasador soporte actuador | 2 |
| 11 | Pasador del Actuador | 1 |
| 12 | Cabecera | 1 |
| 13 | Espaldar | 1 |
| 14 | Cadera | 1 |
| 15 | Soporte rodilla | 2 |
| 16 | Capuchón rueda | 4 |
| 17 | Perno sujetador rueda | 4 |
| 18 | Tornillo rueda | 4 |
| 19 | Rueda | 4 |
| 20 | Mesa | 1 |

La alternativa de solución seleccionada posee un sistema actuador encargado de realizar el movimiento de cubito supino y de bipedestación. El actuador se encuentra acoplado con la camilla y así mismo conectado a la base de todo el mecanismo.

Para efectuar la rehabilitación, mediante el dispositivo de bipedestación seleccionado, el paciente se coloca en la posición decúbito supino y todo su cuerpo se apoya en la camilla y en los soportes: cabeza, espalda, cadera y rodillas, como se muestra en la figura 4.26. A continuación, el actuador da inicio al movimiento del dispositivo hasta quedar en posición de bipedestación (ver figura 4.27) hasta completar los 90° correspondientes al dispositivo. Una vez que el paciente se encuentre en la posición de bipedestación la fisioterapeuta a cargo podrá seguir con la rehabilitación. Para culminar la terapia el actuador regresa a la posición decúbito supino.

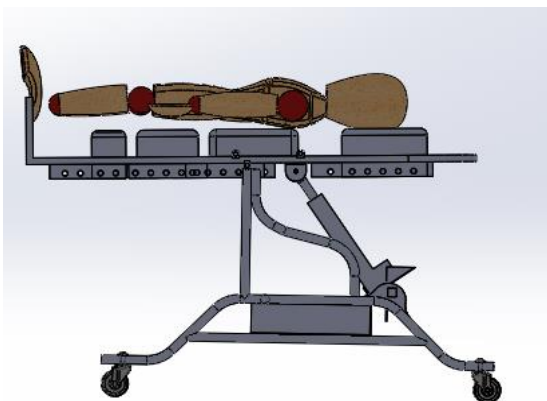


Figura 4 27 Posición de cubito supino (horizontal)

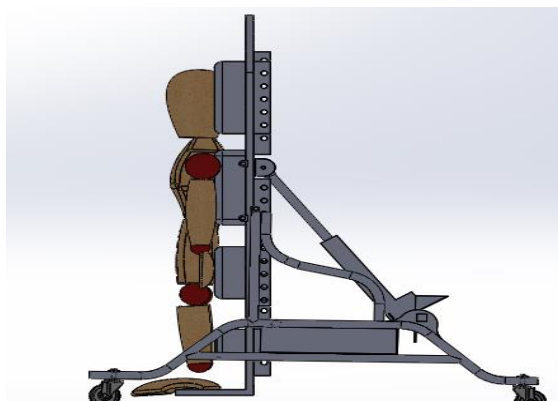


Figura 4 26 Posición bípedo (vertical)

4.7 Selección del material

Con la finalidad de realizar la correcta elección del material. Se detallan a continuación las características principales que debe desempeñar el material elegido.

- Baja densidad
- Fácil mecanizado
- Soldabilidad
- No corrosivo
- Disponibilidad en el país
- Resistencia del material
- Precio

De acuerdo con los requerimientos antes mencionados, el material a usar es el acero. En Ecuador existe disponibilidad en las diferentes aleaciones de acero: AISI 304, AISI 1018, ASTM A36, entre otros. En la tabla 4.11 se muestra una tabla comparativa de los aceros comerciales disponibles en el país.

Tabla 4.11 Estudio comparativo de aceros

| Características | Acero AISI 304 | Acero AISI 1018 | Acero ASTM A36 |
|---------------------------------|-------------------------|-----------------------|--------------------------|
| Densidad | 7,9[g/cm ³] | 8[g/cm ³] | 7,85[g/cm ³] |
| Soldadura | Excelente | Excelente | Excelente |
| Disponibilidad | Excelente | Excelente | Excelente |
| Resistencia del material | 193[MPa] | 370[MPa] | 400[MPa] |
| Precio | Bajo | Medio | Medio |

Dadas las especificaciones del sistema, el material más apropiado para la fabricación del dispositivo de bipedestación es el acero AISI 304, ya que este material posee una excelente ductilidad, maleabilidad, mecanizado y soldabilidad, que garantiza la manufactura, así mismo la disponibilidad en el país y el precio de este acero avala un costo asequible del dispositivo. El comportamiento del material, bajo los esfuerzos a los cuales estaría sometidos se analiza en la sección 4.13.

4.8 Especificaciones del sistema diseñado

Seguidamente se describen cada uno de los elementos que conforman el bipedestador. En cada pieza mostrada, se indica la forma, las dimensiones y la función que desempeña en el dispositivo.

4.8.1. Base de la estructura

La base del dispositivo está diseñada con tubos de 25,4mm de diámetro y 1,50mm de espesor. Presenta una geometría simétrica con una longitud es de 1150mm y un ancho de 480.8mm. Posee cuatro (03) pasadores. Dos (02) pasadores que permiten la sujeción entre la base y la camilla y un pasador (01) que se acopla a la base y al actuador. Además, consta de cuatro (04) agujeros donde se van a acoplar las ruedas, como se muestra en la figura 4.28.



Figura 4.28 Base estructura a) Base estructura, b) Vista con detalle agujero ruedas

4.8.2. Camilla

La camilla está conformada por una base madera de 1300 mm de largo, 400mm de ancho con un espesor de 20mm. Además, cuenta con cuatro pasadores (04) de 10mm de diámetro que se encuentran en los laterales de la camilla. También posee dos soportes donde se acopla al actuador y un pasador de 10mm. Asimismo, la camilla cuenta con unas guías que servirán para su posterior uso como un ajustador de soportes de cabeza, espalda, cadera, rodillas, como se muestra en la figura 4.29.

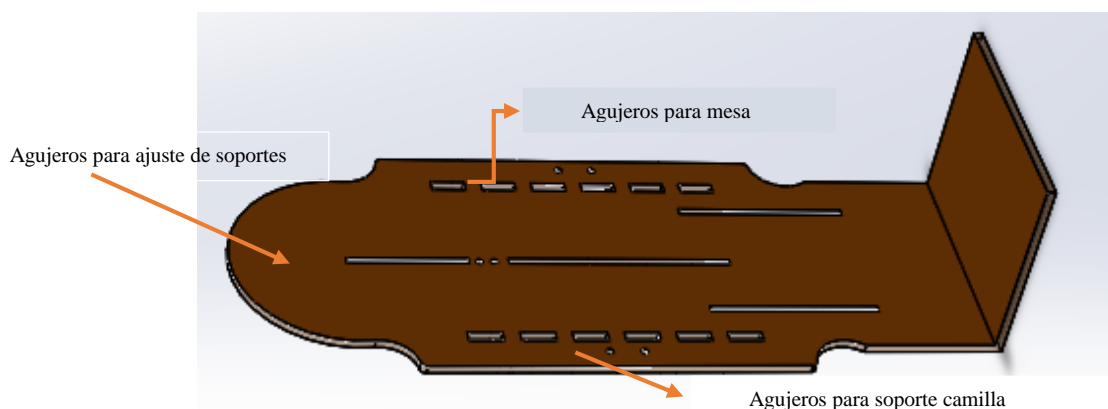


Figura 4 29 Camilla

4.8.3. Soporte cabeza

La estructura del soporte de cabeza está diseñada con una estructura de madera de 140 mm de ancho, 220mm largo y un espesor de 15mm. Este soporte está conformado con agujeros de 12mm y 10mm de diámetro que servirán para realizar diferentes ajustes que serán acoplados en la camilla. Este soporte cuenta con una esponja de 220 mm de largo por 140mm de ancho y una altura de 100mm, que están acoplados a la estructura de la camilla como se muestra en la figura 4.30.

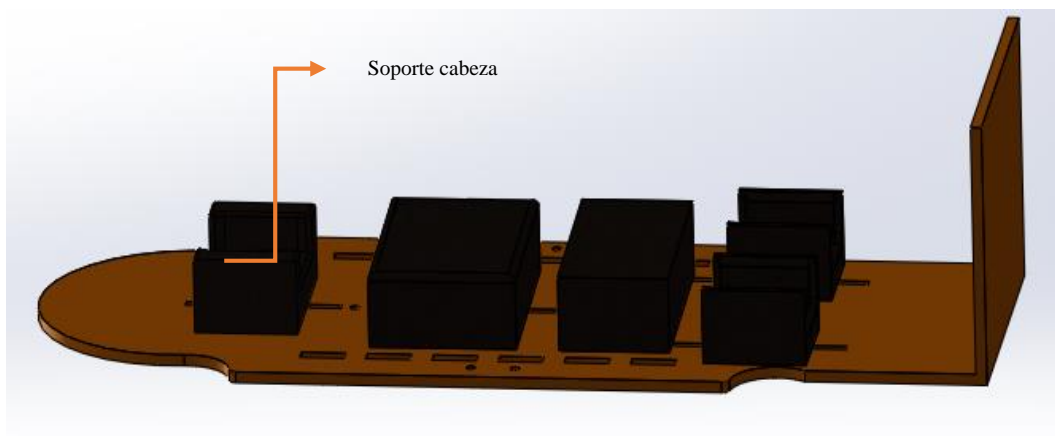


Figura 4 30 Soporte cabeza

4.8.4. Soporte espalda

La estructura del soporte de espalda está diseñada con una estructura de madera de 200 mm de ancho, 3000mm largo y un espesor de 15mm. El soporte está conformado con agujeros de 12mm y 10mm de diámetro que servirán para realizar diferentes ajustes que serán acoplados en la camilla. Cuenta con una esponja de 300 mm de largo por 200mm de ancho y una altura de 100mm que están acopladas a la estructura de la camilla como se muestra en la figura 4.31

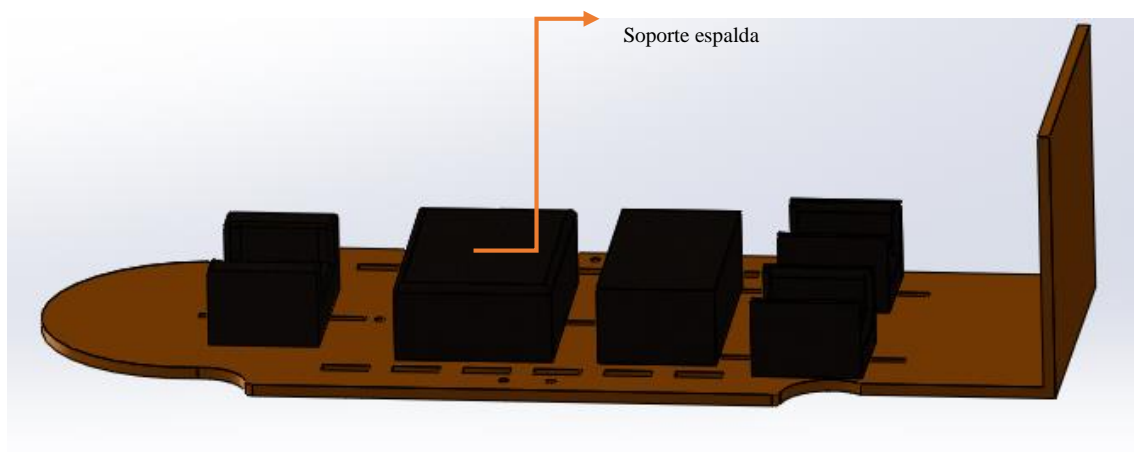


Figura 4 31 Soporte espalda

4.8.5. Soporte cadera

La estructura del soporte de cadera está diseñada con una estructura de madera de 150 mm de ancho, 300mm largo y un espesor de 15mm. Está conformado por agujeros de 12mm y 10mm de diámetro que servirán para realizar diferentes ajustes que serán acoplados en la camilla. Este soporte cuenta con una esponja de 300 mm de largo por 150mm de ancho y una altura de 100mm, que están acoplados a la estructura de la camilla como se muestra en la figura 4.32.

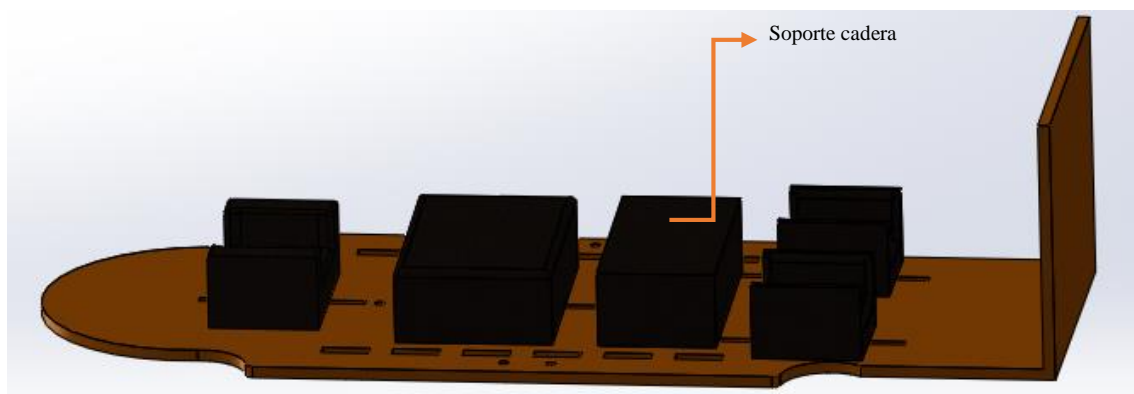


Figura 4 32 Soporte cadera

4.8.6. Soporte rodillas

La estructura del soporte de cadera está diseñada con dos (02) estructuras de madera de 140 mm de ancho, 140 mm de largo y un espesor de 15mm. Estos soportes poseen agujeros de 12mm y 10mm de diámetro que servirán para realizar diferentes ajustes que serán acoplados en la camilla. Este soporte cuenta con una esponja de 140 mm de largo por 140mm de ancho y una altura de 100mm, que están acoplados a la estructura de la camilla como se muestra en la figura 4.33.

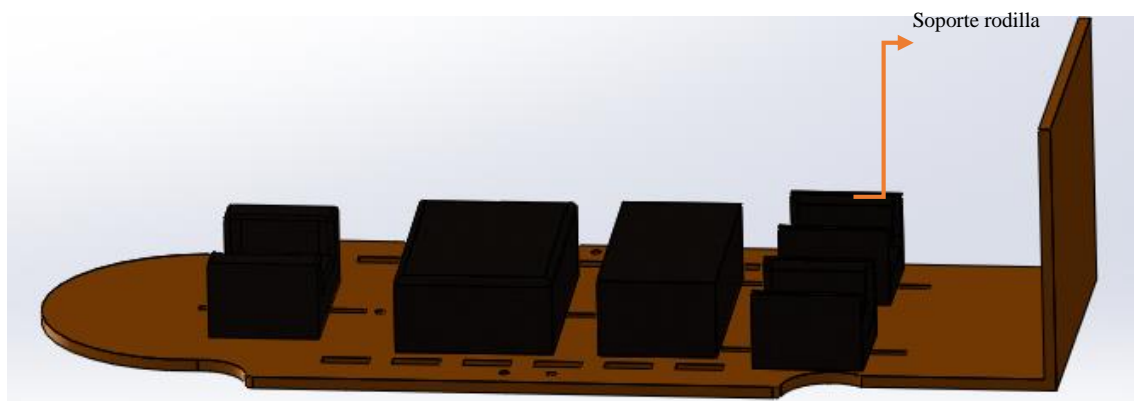


Figura 4 33 Soporte rodillas

4.8.7. Sistema actuador

El sistema del actuador está compuesto por la base, el cuerpo, el eje, el pasador y un acople. Este sistema tiene una longitud de extendida de 37.402 in, una longitud de extraída de 21.654 in, funciona con un voltaje de 12V CC, una carga máxima de empuje de 1500N/330 libras, una carga máxima de 330.7 libras, una carga máxima de extracción de 1000N/264 libras, una velocidad de viaje de 0.22in/s, además el material es de aleación de aluminio, cuenta con un protocolo de protección IP54, una corriente de carga de 0.8A y una corriente máxima de carga de 3 A, como se muestra en la figura 4.34.

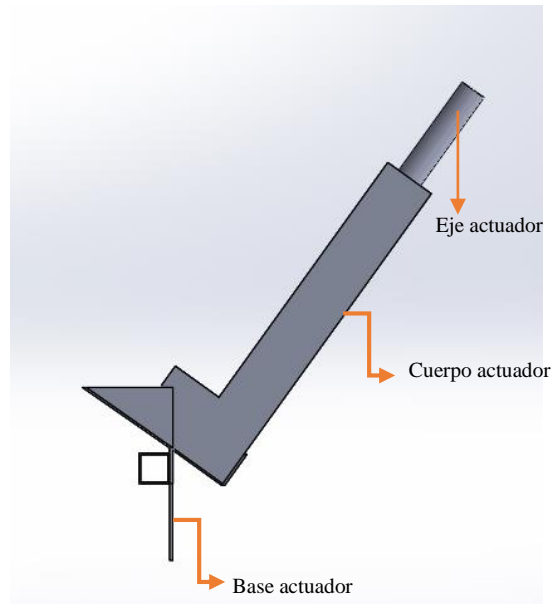


Figura 4 34 Sistema actuador

4.8.8. Sistema de ruedas

El sistema de ruedas está conformado por un capuchón rueda, un perno sujetador, un tornillo, una tuerca que van acopladas en la rueda, está diseñada de acero y una dimensión de 4 pulgadas, además son ruedas móviles con freno como se muestra en la figura 4.35.

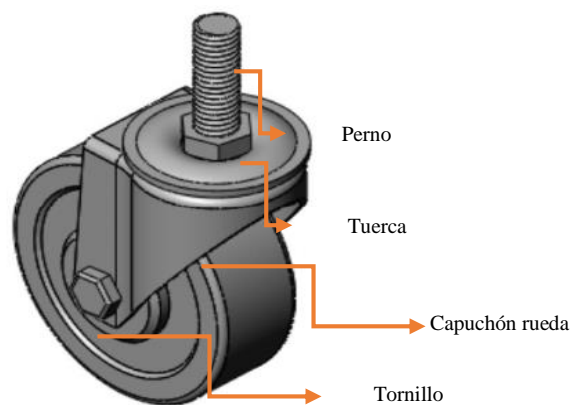


Figura 4 35 Sistema rueda

4.8.9. Mesa

La estructura de la mesa está diseñada con dos (02) láminas de acero de 190mm en de forma vertical, 30mm de ancho y 3mm de espesor, asimismo dos (02) láminas de acero de 318 mm de manera horizontal, 20mm de ancho y 3mm de espesor. Cuenta con agujeros

de 16 mm que servirá para acoplar a la camilla, del mismo modo la mesa tiene una dimensión de 644mm y un ancho de 50mm como se muestra en la figura 4.36.

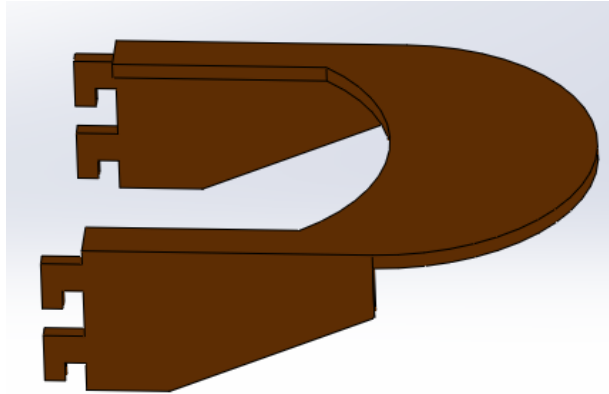


Figura 4.36 Mesa

4.9. Análisis dinámico

El dispositivo de bipedestación se representa a través del siguiente esquema presentado en la figura 4.37.

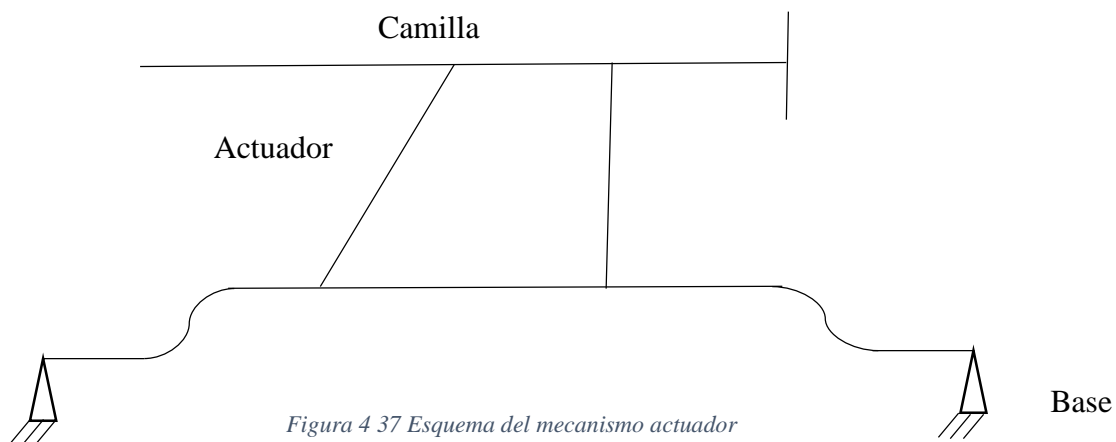


Figura 4.37 Esquema del mecanismo actuador

El dispositivo de bipedestación al solo tener un grado de libertad solo necesita de un actuador para realizar el movimiento de bipedestación, el dispositivo de bipedestación dependerá del actuador lineal seleccionado.

4.10. Tipos de actuador lineal

Actualmente, los actuadores lineales, son dispositivos de transferencia de desplazamientos y fuerzas, permitiendo posicionar objetos de manera manual o automática mediante movimientos en planos paralelos a lo largo de un recorrido recto.

Para la selección del sistema del actuador lineal se consideraron los actuadores lineales ya existentes en el mercado, ya que, al ser un dispositivo para el uso de pacientes con PC, es necesario que cumpla con ciertas normas. Para la selección del sistema lineal más adecuado se presenta en la tabla 4.12, el estudio de las ventajas y desventajas de cada actuador.

Tabla 4.12 Ventajas y desventajas de actuadores lineales

| | Actuadores mecánicos | Actuadores hidráulicos | Actuadores eléctricos |
|--------------------|---|---|--|
| Actuador |  |  |  |
| Ventaja | Alta fiabilidad. Simplicidad de utilización. Mínima manutención. Seguridad y precisión de posicionamiento. Sincronismo de movimiento. | Gran empuje de salida. Buena resistencia de desplazamiento. Control preciso. Velocidad de respuesta rápida. Operación estable. | El actuador eléctrico tiene un gran empuje de salida y alta estabilidad. Costo es menor que el actuador hidráulico. Precisos y fiables. Silenciosos. Son de fácil instalación. Su control es sencillo. No hay restricción de distancia entre la fuente de poder y el actuador. |
| Desventajas | ✓ Sólo operación manual. Sin automatización. | ✓ Su uso ideal es en ductos que transportan líquidos o gas. ✓ Costo elevado y gran volumen ✓ Son de difícil mantenimiento | ✓ Potencia limitada |

4.10.1 Selección del actuador lineal

La selección del sistema de movimiento lineal se realiza en base a los siguientes requisitos y restricciones propias del diseño.

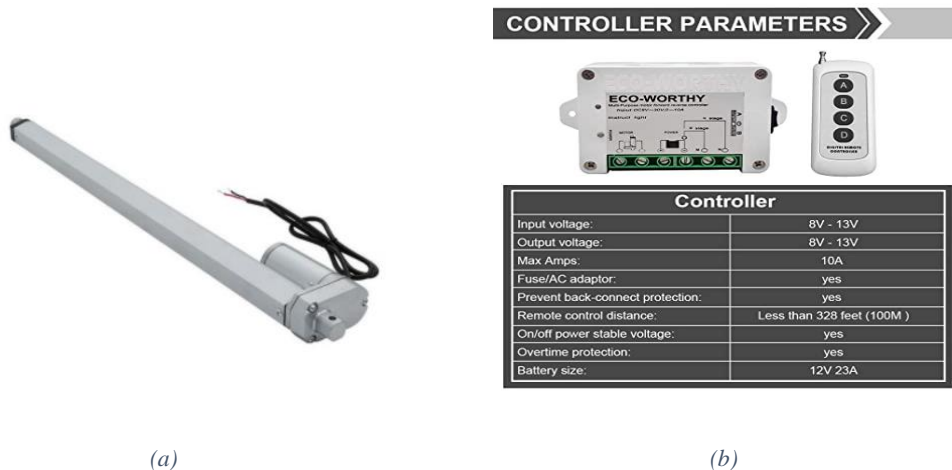
- Ajuste al espacio disponible
- Precio razonable
- Fácil control
- Desplazamiento lineal de 400mm aproximadamente
- Facilidad de instalación
- Mantenimiento
- Precisión

Los parámetros establecidos permiten valorar en una escala de uno (01) al diez (10); donde diez (10) es el valor más conveniente. En la tabla 4.13 se indican los resultados del estudio comparativo.

Tabla 4.13 Selección del actuador lineal

| Criterio de evaluación | Actuador mecánico | Actuador hidráulico | Actuador eléctrico |
|-------------------------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|
| Ajuste al espacio disponible | 5 | 1 | 9 |
| Precio Razonable | 8 | 1 | 9 |
| Fácil control e instalación | 5 | 7 | 10 |
| Disponibilidad en el país | 10 | 10 | 10 |
| Peso que soporta | 8 | 10 | 8 |
| Precisión | 7 | 7 | 9 |
| Mantenimiento | 8 | 7 | 10 |
| Total | 51 | 43 | 65 |

Según los resultados mostrados en la tabla 4.13, el actuador que cumple con la mayoría de criterios de evaluación, es el actuador eléctrico, por ajustarse al espacio disponible, tener un precio considerable, una buena disposición en el país, es de fácil mantenimiento, excelente presión, un buen soporte de peso, y además de tener su controlador incluido, como se muestra en la figura 4.38.



(a)

(b)

Figura 4 38 Actuador seleccionado (a) Actuador lineal, (b) Controlador del actuador

4.10.2 Actuador lineal

El actuador lineal es ampliamente utilizado en una serie de industrias, tales como energía eléctrica, maquinaria, metalurgia, mina, petróleo, industria química, transporte, elevación, construcción, procesamiento de alimentos. Con un rendimiento fiable, acción sensible de funcionamiento estable, las mismas características de empuje y tracción y buena adaptabilidad del entorno, etc.

Características técnicas

- Carcasa totalmente metálica y es resistente al agua y sellada contra el polvo para una durabilidad robusta.
- El motor de 12V tiene la caja de cambios y está clasificado para contener hasta 400 lbs, cuando no se mueve.
- Funcionamiento silencioso y eficiente desde el punto de vista energético
- Posiciona con precisión la carga en ubicaciones variables y repetibles dentro de la carrera completa
- Longitud de pistón: 450mm
- Fuerza: 1500N.m empuje 1200N.m halando
- Voltaje: 12VDC
- Corriente: 0.8A sin fuerza hasta 3A con fuerza
- Protección: IP54
- Controlador: eco worthy con mando a distancia

4.12. Batería

La batería es un componente fundamental, es la fuente de energía de todos los sistemas eléctricos. La batería convencional que más se utiliza es la de ácido – plomo, la cual genera 12V, como se muestra en la figura 4.39. Los tres datos más importantes en los que se debe fijar son: Capacidad nominal (Ah), potencia de arranque(A) y voltaje (V).

Capacidad nominal: Cantidad de energía que puede proporcionar la batería al momento de estar con su carga completa en un periodo determinado de tiempo.

Potencia de arranque: Capacidad de la batería para brindar un pico de energía cuando sea necesario, habitualmente en el arranque.

Voltaje: Diferencia de potencial eléctrico entre dos puntos.

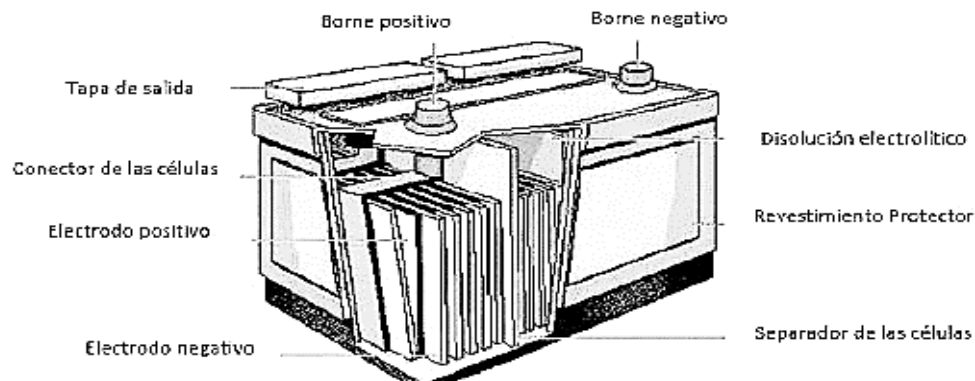


Figura 4 39 Batería convencional (ácido-plomo)

4.12.1 Selección de batería

Para la selección de la batería se deben considerar el peso, autonomía, precio, recarga, mantenimiento los parámetros establecidos permiten valorar en una escala de uno (01) al diez (10); donde diez (10) es el valor más conveniente.

| Elemento | Batería de plomo-ácido | Batería de gel | Batería de Litio |
|---------------|------------------------|----------------|------------------|
| Peso | 9 | 7 | 5 |
| Autonomía | 8 | 8 | 8 |
| Precio | 9 | 7 | 5 |
| Recarga | 9 | 8 | 8 |
| Mantenimiento | 10 | 8 | 10 |
| Total | 45 | 38 | 36 |

Tabla 4.14 Selección de batería

De acuerdo con los resultados de la tabla comparativa 4.12.1, la batería que cumple con la mayoría de los criterios de evaluación es la batería de plomo-ácido, por ajustarse a los requerimientos antes mencionados en la tabla.

La batería que se va a utilizar es el modelo 6-GFM-50, como se muestra en la figura 4.40, con las siguientes características:



Figura 4.40 Batería seleccionada

- Voltaje 12V
- Capacidad 50AH
- Dimensiones: Largo 230mm, Ancho 137mm, Altura 210mm
- Peso 14kg

Las características mencionadas fueron tomadas en cuenta para que bipedestador tenga una mayor autonomía; además, el peso de esta batería es muy importante para que el dispositivo de bipedestación se encuentre en equilibrio y no haya ningún problema de volcamiento.

4.12.2 Selección del cargador de batería

Para la selección del cargador de batería se consideraron el precio, la estética, el tamaño y el peso. Según los parámetros establecidos es posible valorar en una escala de uno (01) al diez (10); siendo (10) es el valor más conveniente, como se muestra en la tabla 4.15.

| Elemento | Hacer cargador | Comprar cargador |
|----------|----------------|------------------|
| Precio | 4 | 9 |

| | | |
|----------------------|----|----|
| Estética | 5 | 10 |
| Tamaño y peso | 5 | 8 |
| Total | 14 | 27 |

Tabla 4.15 Selección del cargador de batería

De acuerdo con los resultados de la tabla comparativa 4.15, el cargador de batería que cumple con la mayoría de los criterios de evaluación, es el de comprar el cargador, por ajustarse a los requerimientos antes mencionados en la tabla.

El cargador que se va a utilizar es la marca Power Bull 1202-3, como se muestra en la figura 4.41, con las siguientes características:

- Fabricante: Power Bull
- Modelo: 1202-2
- Material: Plástico.
- Medidas: Largo 16cm, Ancho 12cm, Alto 6cm.
- Energía de Entrada: 110-220V.
- Voltaje de salida: 13.8V.
- Corriente de carga: 6A.
- Carga de baterías: 12V.
- Peso: 1kg
- Color: Amarillo.
- Precio: \$ 15



Figura 4 41 Cargador de batería

4.13. Análisis de elementos finitos

Se realiza un análisis estático con las cargas presentes en la estructura del bipedestador, permitiendo determinar los valores de esfuerzo de Von Mises, el desplazamiento máximo y el factor de seguridad.

La distribución de la masa y el peso del paciente, así como la gravedad, son factores que hay que tomar en cuenta en el análisis de cargas existentes. Por esta manera, mediante la ecuación 4.1, se calculan las fuerzas actuantes en el dispositivo. Los resultados se expresan en la tabla 4.16

$$F = m * g \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Donde:

F = fuerza

m = masa

g = gravedad en el sistema internacional de unidades $9,8[m/s^2]$

Tabla 4.16 Distribución de masa y peso del paciente

| Paciente | Masa[Kg] | Peso[N] |
|--------------------------|-----------------|----------------|
| Niño peso crítico | 20 | 196,13 |
| Camilla | 10 | 98,066 |

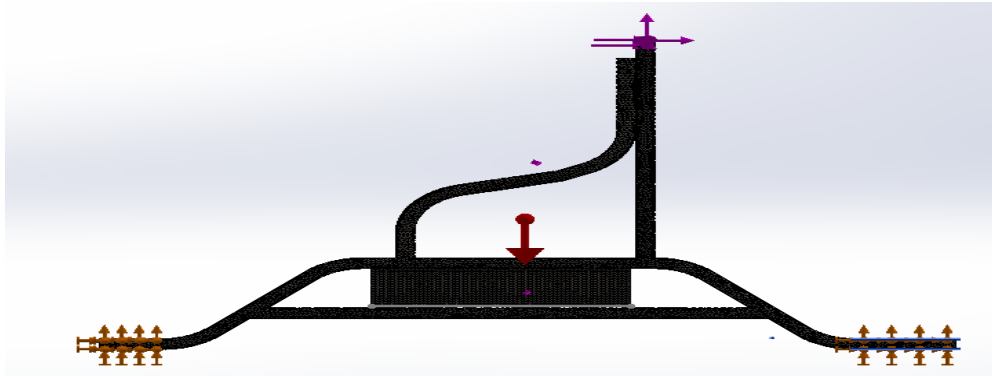
4.13.1. Análisis de estructura base

Para el análisis de elementos del modelo 3D, se utiliza el método de elementos finitos; procedimientos numéricos para varios problemas de ingeniería de alta complejidad. El análisis estático se lo realiza con la ayuda del software "SolidWorks 2017", que puede determinar el valor de tensión de Von Mises y el desplazamiento máximo, así como el factor de seguridad.

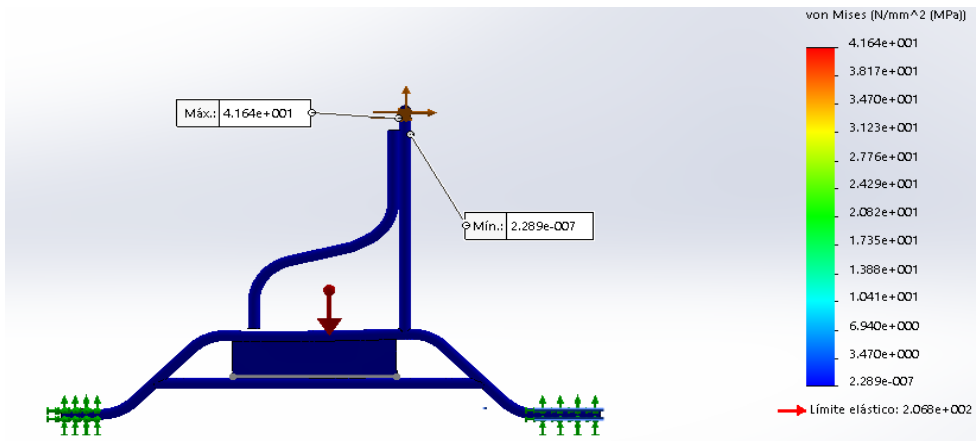
La carga externa que debe soportar la estructura es de 196,13 [N] de peso crítico del niño, adicional 98,066[N] de la camilla, con un total de 294.196[N]. A continuación, se detalla el análisis de elementos finitos empleando el programa Solid Works, donde el acero inoxidable AISI 304 y la Tabla triplex, se establece como material de referencia respectivamente, las condiciones de borde y mallado de la base de la estructura y camilla, se muestran en la figuras 4.42 y 4.43 respectivamente.

Para realizar el mallado se utilizó una malla sólida con elementos sólidos tetraédricos 3D, ya que los elementos tetraédricos son apropiados para objetos de gran tamaño. En la

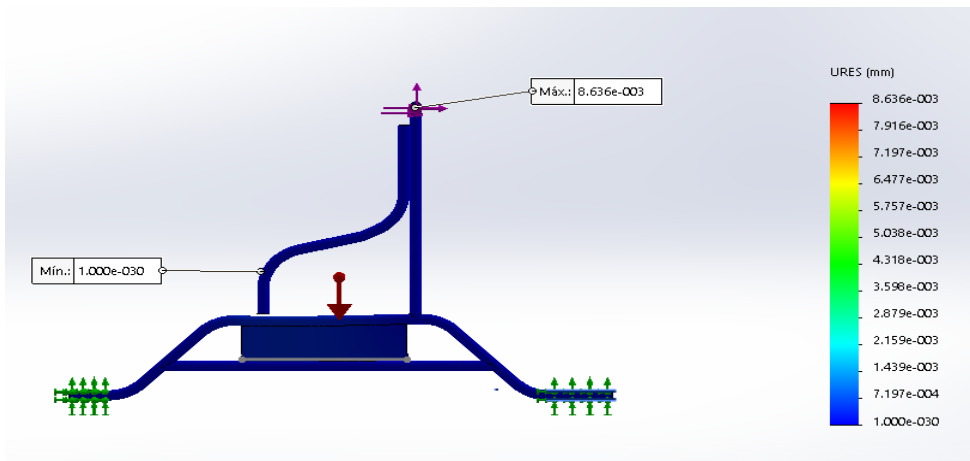
parte inferior donde van las ruedas se utilizó una geometría fija para simular ningún movimiento, también se utilizó una fuerza de 500N, en la parte superior ya que en ese punto se encuentra el punto crítico y es donde va estar concentrada toda la fuerza.



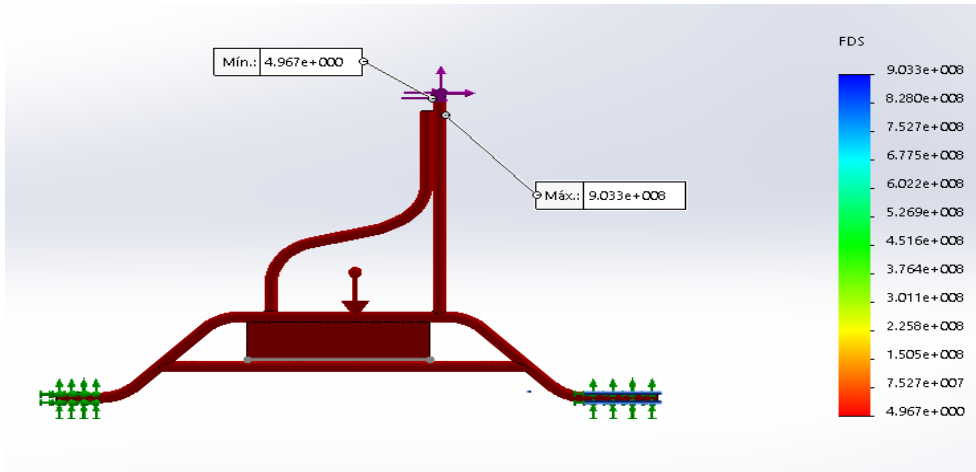
(a)



(b)

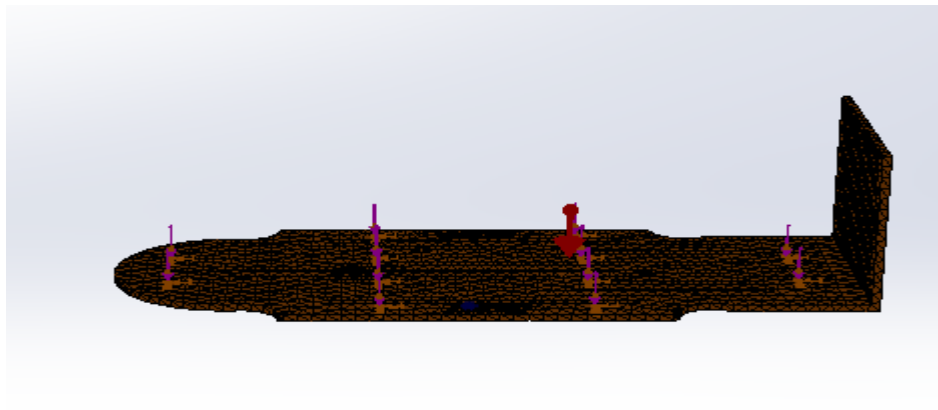


(c)

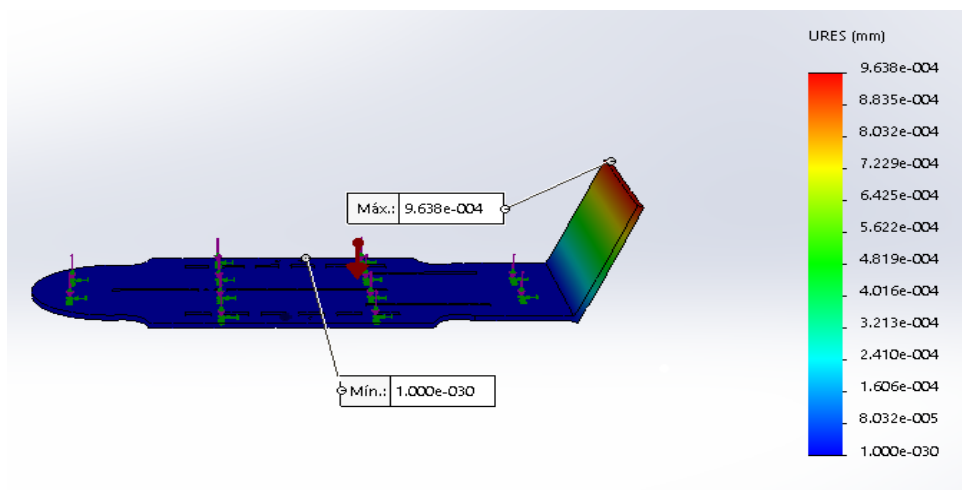


(d)

Figura 4 42 Análisis estático del tubo base estructura; (a) mallado, (b) esfuerzo de Von Mises (MPa), (c) desplazamiento máximo (mm), (d) factor de seguridad.



(a)



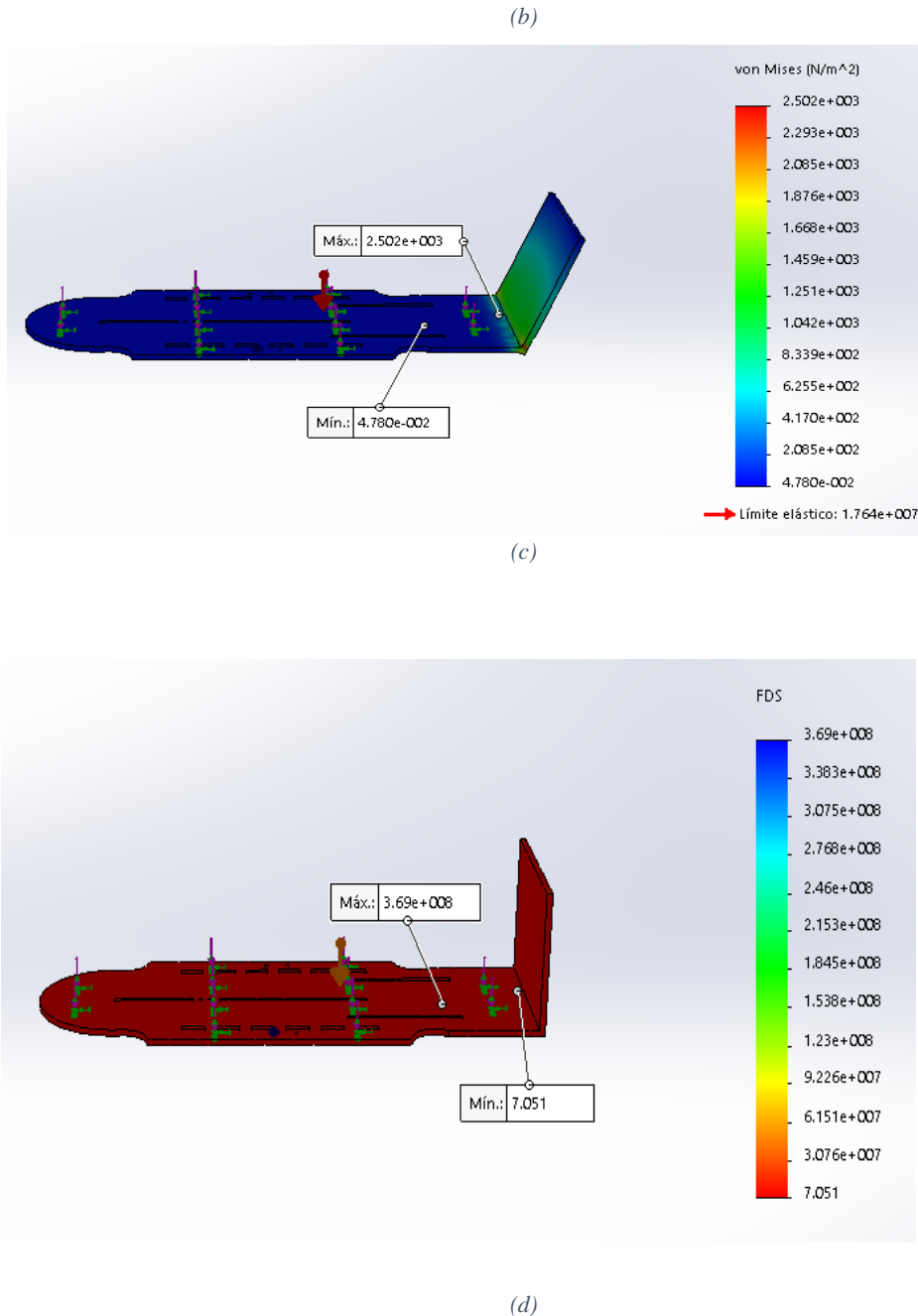


Figura 4 43 Análisis estático de la camilla; (a) mallado, (b) esfuerzo de Von Mises, (c) desplazamiento máximo, (d) factor de seguridad.

Partiendo del análisis estático, se observa que el esfuerzo de Von Mises tanto en la base de la estructura como en la camilla posee un valor de 4,164 MPa y 2,502 MPa respectivamente; este valor, garantiza la resistencia de la base de estructura y la camilla, al no superar el esfuerzo de tracción del acero AISI 304 (193MPa), el valor del desplazamiento máximo es de 0.008mm y 0.00001, respectivamente y por último, el valor

del factor de seguridad es de cinco (5) y siete punto cero cinco (7,05); el cual se encuentra en el rango de seguridad aceptado.

Tabla 4.17 Resultados del análisis de esfuerzo, desplazamiento y factor de seguridad de la base estructura y camilla.

| Elemento | Esfuerzo Máximo [MPa] | Desplazamiento Máximo [mm] | Factor de seguridad |
|-----------------|--------------------------|-------------------------------|------------------------|
| Base estructura | 4,164 | 0,008 | 5 |
| Camilla | 2,252 | 0.00001 | 7,051 |

Posterior al análisis de la base de la base de estructura y la camilla, se obtiene un factor de seguridad mínimo de cinco (5) y siete (7) respectivamente, el mismo valida el correcto funcionamiento del bipedestador.

4.14 Pasadores

Un pasador es un sujetador mecánico desmontable que es cilíndrico o cónico, y su extremo puede variar según la aplicación. Se utiliza para fijar varias piezas a través de un orificio común para evitar el movimiento relativo entre ellas. El uso de estos sistemas de fijación es muy útil en máquinas industriales y productos comerciales; por ejemplo, dispositivos de cierre, posicionamiento de componentes, pivotes, etc.

4.14.1 Selección de pasadores

Para la selección de pasadores, se realiza un diseño para calcular el diámetro del pasador que se debe utilizar.

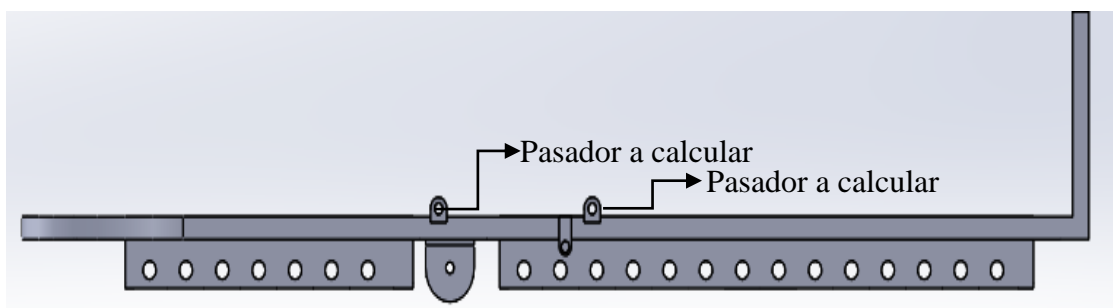


Figura 4 44 Modelo CAD camilla

4.14 Diagrama de cuerpo libre

A continuación, se muestran el diagrama de cuerpo libre de la pieza que soporta los esfuerzos máximos en la posición más crítica. En la figura 4.44 se muestra el diagrama de cuerpo libre del espaldar en su punto más crítico, que es cuando el espaldar se encuentra en posición supino en un ángulo de 0° .

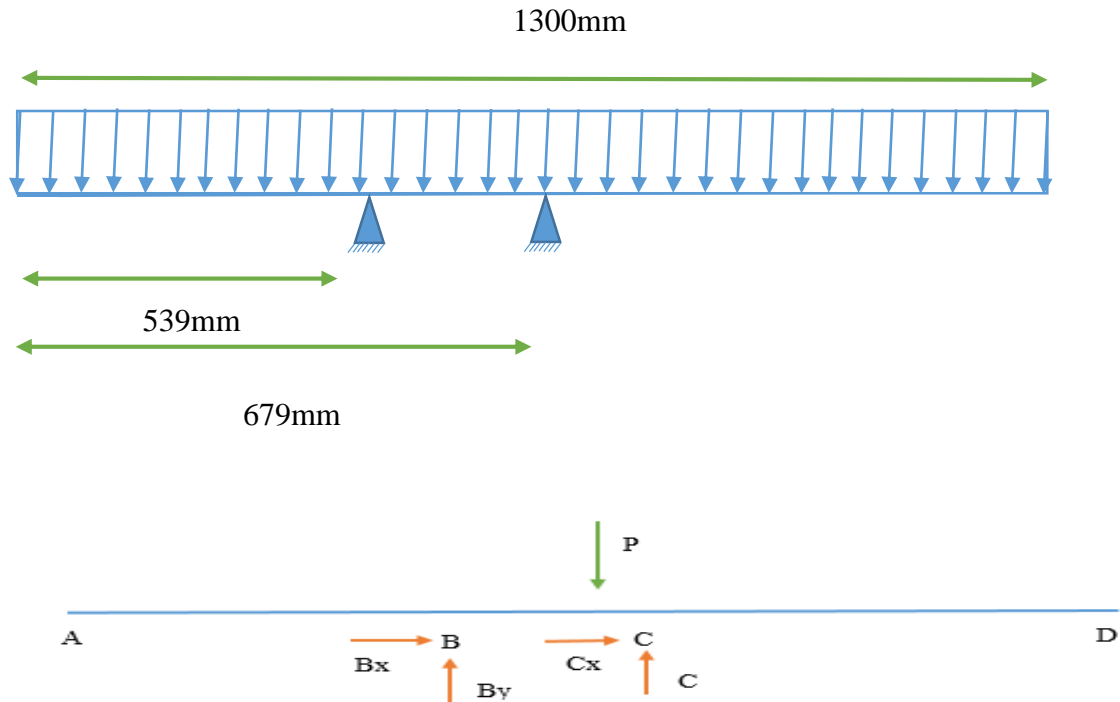


Figura 4.45 Diagrama de cuerpo libre camilla

En la figura 4.45 se puede observar el diagrama de cuerpo libre de la camilla, en donde P, es la carga distribuida máxima del paciente sobre la camilla y aplicando las ecuaciones de equilibrio se obtienen las siguientes reacciones.

Datos:

$$S_y = 235 \text{ MPa}$$

Ec.1 Resistencia a la fluencia

$$N_f = 1.5$$

Ec.2 Factor de seguridad

$$P = 490.33 \text{ N}$$

Ec.3 Masa distribuida

$$RBx = Rcx = 0$$

Ec.4 Reacciones en x

$$RBy = 101.099 \text{ N}$$

Ec.5 Reacción en By

$$RCy = 389.233 \text{ N}$$

Ec.6 Reacción en Cy

$$Mmax = 54.493 \text{ N/m}$$

Ec.7 Momento en B

$$\sigma = \frac{Mmax}{S}$$

$$S = \frac{32\pi}{\pi * d^3}$$

$$d = \frac{\sqrt[3]{32 * M * Nf}}{Sy * \pi}$$

Ec.8 Formula para calcular el diámetro

$$d = 15.245 \text{ mm}$$

4.15. Aspectos relacionados a la construcción y ensamblaje

El proceso de construcción del bipedestador se realiza en primera instancia con la fabricación y ensamblaje del sistema mecánico, seguido del montaje del actuador e insumos que brindan protección, comodidad y estética.

4.15.1. Fabricación del sistema mecánico

Los elementos que conforman el dispositivo en su mayoría son estructuras tubulares de acero inoxidable AISI 304, el proceso de manufactura se realiza de acuerdo con los planos mecánicos de la estructura (ver anexo 1). Cada pieza se construye de manera independiente y se ensambla posteriormente.

4.15.2. Fabricación de la base de la estructura

La manufactura del dispositivo de bipedestación está compuesta por tubos huecos de acero inoxidable AISI 304, conjuntamente, se realizan un dobles y a continuación se efectúa la soldadura para formar la base de la estructura, asimismo se realiza la soldadura del soporte del actuador, como se muestra en la figura 4.46.



Figura 4 46 Fabricación base de la estructura

4.15.3.Fabricación camilla

La manufactura de la camilla para el dispositivo de bipedestación, se realizó empleando una tabla triplex de 15mm, en donde primero se corta la tabla triplex a la medida según los planos que se muestran en el anexo 2. Para formar la camilla una vez, que este tenga su medida correspondiente se llevan a cabo los procesos de pulido, taladrado, y por último el acabado para la madera, para darle una mejor estética, como se muestra en la figura 4.47.

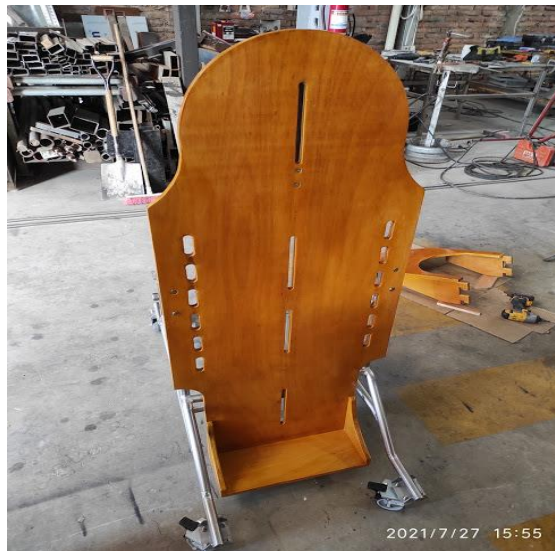


Figura 4 47 Fabricación camilla

4.15.4. Ensamblaje del bipedestador

Una vez que culminado la fabricación de los elementos del dispositivo bipedestador, se implementan los soportes de: cabeza, espalda, cadera y rodilla, mediante colchonetas

y velcro de sujeción, que brindan al paciente seguridad y comodidad. Finalmente, se realiza el ensamblaje de todas las piezas, como se muestra en la figura 4.48



Figura 4.48 Bipedestador ensamblado

4.16 Pruebas de funcionamiento y validación

Luego de ensamblar el dispositivo bipedestador se procede a realizar diferentes pruebas con pacientes de la “Unidad de Rehabilitación y Medicina Preventiva la Joya”, para verificar su correcto funcionamiento. En las figuras 4.49-a se muestra un paciente que fue colocado en el dispositivo en posición supina, por su fisioterapeuta; donde el cuerpo de fisioterapia lo cargo hasta colocar y ajustar sus extremidades correctamente, con el respectivo cuidado y siempre asegurándose del paciente, una vez que el paciente se encontraba listo con todas las medidas de seguridad, la fisioterapeuta realiza el cambio de posición mediante el control remoto, con este control la fisioterapeuta puede colocar al paciente en ángulos de 0 a 90° grados. Para culminar con la terapia la fisioterapeuta realiza el cambio de posición bípeda a supino, para poder bajar del bipdestador al paciente.



a)



b)

Figura 4 49 Bipedestador: a) posición decúbito supino; b) posición bípeda



Figura 4 50 Bipedestador ángulo al azar por fisioterapeuta



a



b

Figura 4 51 a) posición supino, b) posición bípeda



Figura 4 52 Bipedestador ángulo al azar por fisioterapeuta

Para realizar las pruebas de funcionamiento se tomaron en cuenta los siguientes parámetros: seguridad, repeticiones, posición en niños de diferentes edades, como se muestra en la tabla 4.18

Tabla 4.18 Pruebas realizadas del dispositivo

| Nro. de pruebas | Parámetros | | |
|------------------------|------------------------|------------------|-------------------------|
| | Edad | Seguridad | Repeticiones |
| 5 | Funciona correctamente | 3 | Decúbito supino, Bípodo |
| 8 | Funciona correctamente | 5 | Decúbito supino, Bípodo |
| 10 | Funciona correctamente | 4 | Decúbito supino, Bípodo |

CAPÍTULO V

MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

Este manual es parte integral de su sistema de puesta de pie y toda persona que vaya a operar la unidad deberá leerlo en forma completa y consciente. De esta manera se asegurará que el funcionamiento sea de forma adecuada y se utilice de la forma más beneficiosa.

Nunca utilice el Bipedestador sin la presencia de un adulto capacitado. En caso de presentarse algún problema que no pueda solucionar con la lectura del manual, por favor contactar telefónicamente al número 098 417 3506.

Es necesario que se inspeccione el dispositivo en forma periódica para asegurarse que esté en condiciones operativas seguras. El operador podrá realizar cualquier ajuste menor, aunque el reemplazo de piezas deterioradas, ajustes mayores o cualquier otra corrección de importancia deberá estar a cargo de un servicio técnico autorizado.

5.1. MEDIDAS DE SEGURIDAD

- Se solicita leer y entender todas las medidas de seguridad e instrucciones antes de usar el dispositivo de bipedestación
- El dispositivo de bipedestación está diseñado para adaptarse a individuos entre 70 y 130 cm de estatura y hasta 30 Kg de peso corporal.
- El uso del equipo sin la autorización previa del médico o terapeuta físico calificado podría ocasionarle serios problemas médicos.
- Se recomienda la implementación de un buen programa de puesta de pie que sea desarrollado y supervisado por un médico o terapeuta físico calificado.
- Nunca utilice el dispositivo de bipedestación sin la presencia de un adulto capacitado.
- Nunca deje a un niño desatendido en la unidad.
- No haga ajustes al equipo mientras el niño se encuentre de pie.
- Los cambios de posición deberán estar a cargo o ser supervisados por un cuidador calificado o un profesional médico.
- Inspeccione periódicamente el equipo para asegurarse que esté en condiciones operativas seguras.

- Preste especial atención a la presencia de piezas sueltas.
- El reemplazo de piezas deterioradas, ajustes mayores o cualquier otra corrección de importancia deberá estar a cargo de servicio técnico autorizado.
- Antes de colocar al paciente en posición vertical, asegúrese de que el equipo esté alineado y cuente con el apoyo necesario.
- Este equipo fue diseñado para uso en interiores, únicamente sobre superficies planas.
- Mantenga las ruedas con frenos mientras el equipo esté en uso.
- No se recomienda trasladar el equipo con el usuario en posición vertical.
- Los movimientos extremos hacia delante o laterales pueden hacer volcar el equipo.
- Se recomienda guardar el equipo a temperaturas y niveles de humedad normales.
- El Elevador Eléctrico cumple con los requerimientos IEC 60601-1 y 60601-2.
- El equipo electrónico del elevador eléctrico podría verse afectado por Interferencias de Frecuencias de Radio (RFI) e Interferencias Electromagnéticas (EMI).
- Se debe tener cuidado al utilizar equipos de comunicación portátiles y/u otros dispositivos electrónicos en cercanía de dichos equipos.
- En caso de notar un comportamiento errático, desconectar la unidad hasta que haya desaparecido la interferencia.
- Se recomienda quitar la batería si el equipo no va a utilizarse por un período de 6 meses o más.
- Asimismo, se recomienda cargar completamente la batería después de su descarga aproximadamente después de 16 horas de uso constante.

ATENCIÓN: Este equipo fue diseñado para acomodar a un determinado rango de usuarios; por lo tanto, la unidad tiene varios agujeros y ranuras de ajuste. Evite colocar los dedos o cualquier otra parte del cuerpo en estos lugares.

ATENCIÓN: Mientras el equipo se encuentra en uso habrán algunas piezas en movimiento. Familiarícese con ellas y evite colocar las manos o dedos cerca de estas áreas.

ATENCIÓN: Informe a la gente que se encuentre cerca que evite acercarse a la unidad cuando esté en uso.

5.2. AJUSTE Y USO

5.2.1 Rodilleras

Para ajustar la posición de la rodillera, afloje las perillas y mueva hacia la posición deseada. Asegure firmemente con el velcro de sujeción. Ver figura 5.53



Figura 5 53 Rodilleras

5.2.2. Cadera

Para ajustar la posición de la cadera, afloje las perillas y mueva hacia la posición deseada. Asegure firmemente con el velcro de sujeción. Ver figura 5.54



Figura 5 54 Cadera

.2.3. Espaldar

Para ajustar la posición del espaldar, afloje las perillas y mueva hacia la posición deseada. Asegure firmemente con el velcro de sujeción. Ver figura 5.55



Figura 5 55 Cadera

5.2.4. Cabecera

Para ajustar la posición de la cabecera, afloje las perillas y mueva hacia la posición deseada. Asegure firmemente con el velcro de sujeción. Ver figura 5.56



Figura 5 56 Cabecera

5.2.5. Mesa

Para colocar la mesa, hay que tener en cuenta que el dispositivo debe estar en posición decúbito supino. Ver figura 5.56



Figura 5 57 Mesa

CONCLUSIONES

- En base a la información recopilada se destaca como características de diseño de un bipedestador la ergonomía, ajustabilidad y seguridad de los pacientes. De esta manera, se contribuye a la mejora en la calidad de vida de los niños, debido a que facilita la bipedestación misma que ayuda a reducir la descalcificación de huesos e inflamación en extremidades y lesiones; así también fortalece el sistema cardiovascular.
 - Se diseñó e implementó un bipedestador ajustable, que cuenta con criterios de diseño tales como: ergonomía, seguridad, material y ajustabilidad. Este último, permite que el bipedestador se destaque de otros, debido a que a través de un bloqueador de asientos de bicicleta permite recorrer los soportes de cabeza, espalda, cadera y rodillas para adaptar a pacientes con diferentes estaturas y pesos.
 - El bipedestador cumple con las condiciones requeridas para pasar de posición supino a bípeda y viceversa, en cuanto a medidas de seguridad en las partes críticas (cabeza, cadera, rodillas, pies), se garantiza la seguridad de los pacientes ya que cuenta con unas correas para un ajuste adecuado.
 - La utilización de la herramienta computacional Solidworks permitió analizar las diversas piezas que soportan los esfuerzos máximos en las posiciones críticas. En ninguno de los casos el material supera su límite elástico y se obtiene un factor de seguridad mayor a 1, por tanto, el diseño presenta un óptimo desempeño para las condiciones de cargas establecidas.
 - Para la construcción del bipedestador se seleccionó el acero AISI 304 para la base, y para la camilla tabla triplex. Debido a que estos tipos de materiales son más económicos, resistentes, de fácil acceso en el medio y de buena soldabilidad respectivamente.

RECOMENDACIONES

- En trabajos futuros, se sugiere continuar con la investigación enfocada a los diferentes tipos de materiales para la estructura del dispositivo; de esta manera mejorar la relación peso – costo del bipedestador, para obtener mayores beneficios.
- Dado que se usa el Método de Elementos Finitos para el análisis estático del diseño estructural y se usa el criterio de falla estática de Von Mises, se recomienda comprobar el diseño mediante análisis dinámico para verificar el funcionamiento del equipo y obtener resultados más precisos.
- Para mejorar la estética y orientados a que el dispositivo se pueda comercializar, es necesario cambiar ciertos componentes, principalmente las correas de sujeción, para que se ajusten mejor al marco del bipedestador.

REFERENCIAS

- [1] I. En, E. L. Arte, and P. Ecuatoriano, “10 Diseño De Un Bipedestador Modular Pediátrico Inspirado En El Arte Precolombino Ecuatoriano,” pp. 211–227, 2018.
- [2] E. K. Paredes and J. E. Toapanta, “Diseño e implementación de un bipedestador automático para la movilidad de adultos mayores del hogar de vida "Luis Maldonado Tamayo" ubicado en el cantón Pujilí,” 2018.
- [3] G. Fernández Belver, “Desarrollo de la bipedestación y la marcha en parálisis cerebral (diplejia espástica),” *Reduca*, vol. 8, no. 1, pp. 564–638, 2016.
- [4] G. Krakovsky, M. M. Huth, L. Lin, and R. S. Levin, “Functional changes in children, adolescents, and young adults with cerebral palsy,” *Res. Dev. Disabil.*, vol. 28, no. 4, pp. 331–340, 2017.
- [5] A. M. K. Wong, Y. C. Pei, H. W. Chang, J. W. Chen, S. W. Chou, and Y. C. Lau, “A new modification of adjustable standing frame for children with cerebral palsy,” *IFMBE Proc.*, vol. 15, pp. 167–170, 2016.
- [6] R. Saavedra and E. Garc, “Diseño de un equipo de bipedestación,” *Rev. Ing. UC*, vol. 20, no. 1, pp. 25–33, 2015.
- [7] B. Allouche, A. Saade, A. Dequidt, L. Vermeiren, and O. Remy-Neris, “Design and Control of an Assistive Device for the Study of the Post-stroke Sit-To-Stand Movement,” *J. Bionic Eng.*, vol. 15, no. 4, pp. 647–660, 2018.
- [8] J. Francisco, E. C. R, and L. Fernando, “Diseño de un bipedestador ergonómico para un niño con Parálisis Cerebral distónica,” pp. 1–5, 2016.
- [9] N. A. Oñate and M. A. Beltran, “Xiv International Congress on Project Engineering Equipamiento Para La Discapacidad: Propuesta De Un Bipedestador Eléctrico Infantil,” pp. 2473–2484, 2015.
- [10] G. C. Alfaro, C. Lizbeth, A. Magdaleno, A. V. Lesso, R. L. Arroyo, and K. A. Camarillo Gómez, “Análisis de estabilidad para el rediseño de un bipedestador para la marcha asistida,” *Pist. Educ. Año*, no. 99, pp. 1405–1249, 2016.
- [11] K. Quiñones Argote, A. Robayo Torres, and A. García Torres, “Diseño de un prototipo de bipedestador para pacientes pediátricos con espina bífida,” *Rev. la Fac. Med. Vol. 61, num. 4 (2013); 423-429 2357-3848 0120-0011*, vol. 61, no. 4, pp. 423–429, 2016.

- [12] A. C. Espejel García, “Selección, Diseño Y Construcción De Bipedestador Infantil Para Pacientes Con Parálisis Cerebral,” p. 98, 2016.
- [13] T. Mo, Y. Sun, and Y. Yang, “New Mechanism Used in Standing Wheelchair,” 2016.
- [14] E. N. Personas and M. Con, “Guía de Orientación,” 2016.
- [15] J. V. JUAN PABLO ARANGO VELÁSQUEZ, Gómez, “BIPEDESTADOR PARA NIÑOS ENTRE LOS 2 Y 6 AÑOS QUE SE ENCUENTRAN EN LOS NIVELES III Y IV DE LA GMFCS,” pp. 1–135, 2018.
- [16] C. Lidbeck, *Standing in Children With Bilateral Spastic Cerebral Palsy: Aspects of Muscle Strength, Vision and Motor Function*. 2016.
- [17] Federación Española de Enfermedades Neuromusculares, “Productos que me ayudan a la bipedestación,” vol. 2009, no. traducción, 2015.
- [18] Leckey, “Posture , How it Develops , and why Standing is Important How posture develops Posture , How it Develops , and why Standing is Important,” no. 2001, 2015.
- [19] B. D. Herrera and H. Quito, “Análisis De Factores Que Conllevan a Problemas Nutricionales En Pacientes Con Parálisis Cerebral En El Instituto Fundación De Parálisis Cerebral De La Ciudad De Quito Durante El Periodo Enero - Abril Del 2014,” 2016.
- [20] M. V. Amezcuita G. and M. I. Hodgson B., “Estimación de la talla en la evaluación nutricional de niños con parálisis cerebral,” *Rev. Chil. Pediatr.*, vol. 85, no. 1, pp. 22–30, 2016.
- [21] A. A. Maldonado-Macias, R. Romero, J. J. Zapata, E. Martínez, and S. Noriega, “Desarrollo de datos antropometricos para niños con discapacidad motriz en Ciudad Juárez,” *Culcyt*, vol. 40–41, no. 40, pp. 145–153, 2015.
- [22] M. T. Restrepo, “La evaluación antropométrica del estado nutricional de los discapacitados,” *Perspect. en Nutr. Humana*, vol. 4, no. 7193, pp. 45–64, 2014.
- [23] A. T. Generales and A. D. General, “ELEMENTOS DE POSICIONAMIENTO, TRANSFERENCIA Y REHABILITACIÓN BIPEDESTADOR ELÉCTRICO O HIDRÁULICO,” 2017.
- [24] V. Maria, “Diseño de un sistema de verticalización para niños de 10 meses a 2 años que sufren de meningocele o mielomeningocele,” 2016.
- [25] A. Bermejo Franco, “Ayudas para la marcha en la parálisis cerebral infantil,”

Rev. Int. Ciencias Podol., vol. 6, no. 1, pp. 9–24, 2016.

Anexos